ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΑΝΑΛΥΣΗΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ & ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Πήττας Κωνσταντίνος

Επιβλέπων: Βουτσάς Επαμεινώνδας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Ιούνιος 2015

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την μεγάλη βοήθεια και καθοδήγηση σε όλη την πορεία τον κύριο Βουτσά Επαμεινώνδα, Αναπληρωτή Καθηγητή καθώς και τον κύριο Χρήστο Μπουκουβάλα για τις πολύτιμες τεχνικές του συμβουλές. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του εργαστηρίου που δημιούργησαν ένα πολύ θετικό κλίμα και πάντα όλοι ήταν φιλικοί και πρόθυμοι να βοηθήσουν.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Statoil για τις προσομοιώσεις και τις αναφορές που μου δόθηκαν για τις δύο μονάδες επεξεργασίας φυσικού αερίου χωρίς τα οποία η παρούσα εργασία δεν θα ήταν εφικτή.

Περιεχόμενα

1. Περίληψη 6
2. Abstract 8
3. Εισαγωγή 9
4. Θεωρητικό Μέρος 10
   4.1 Η ιστορία του Φυσικού Αερίου 10
   4.2 Προέλευση και σύσταση του Φυσικού Αερίου 10
   4.3 Ισορροπία Φάσεων Υγρού-Ατμού για το Φυσικό Αέριο 11
   4.4 Βασικές ιδιότητες του Φυσικού Αερίου (Φυσικές & Χημικές) 13
   4.5 Τρόποι Διανομής Φυσικού Αερίου 14
      4.5.1 Δίκτυο αγωγών 14
      4.5.2 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο 14
      4.5.3 Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο 14
   4.6 Βασικές αρχές της επεξεργασίας Φυσικού Αερίου 15
      4.6.1 Διαχωρισμός αερίου από υγρό 16
      4.6.2 Διαδικασία αφυδάτωσης 16
      4.6.3 Απομάκρυνση των επιμολύνσεων 16
      4.6.4 Διαχωρισμός Μεθανίου 16
      4.6.5 Κλασμάτωση 17
   4.7 Ο ρόλος των εργαλείων προσομοίωσης στην βιομηχανία του Φυσικού Αερίου 17
   4.8 Μοντέλα πρόβλεψης ιδιοτήτων 18
      4.8.1 Κυβική καταστατική εξίσωση van der Waals 18
      4.8.2 Κυβική καταστατική εξίσωση Soave-Redlich-Kwong 18
      4.8.3 Κυβική καταστατική εξίσωση Peng Robinson 19
      4.8.4 Επίδραση των συντελεστών αλληλεπίδρασης k_{ij} στα αποτελέσματα πρόβλεψης 20
      4.8.5 Το EOS-G^E μοντέλο UMR 20
   4.9 Μέθοδοι Χαρακτηρισμού βαριού κλάσματος Φυσικού Αερίου 23
5. Υπολογιστικό Μέρος 24
   5.1 Εισαγωγικά Στοιχεία Μονάδας Kristin 24
   5.2 Τα βήματα της προσομοίωσης της μονάδας Kristin 26
      5.2.1 Άντληση λειτουργικών και σχεδιαστικών παραμέτρων 26
      5.2.2 Δημιουργία νέας προσομοίωσης για την μονάδα Kristin στο Aspen HYSYS 29
      5.2.3 Δημιουργία λίστας συστατικών (Component List) για την μονάδα Kristin 30
      5.2.4 Επιλογή καταστατικής εξίσωσης (Fluid Package) για την μονάδα Kristin 32
      5.2.5 Δημιουργία διαγράμματος ροής (Simulation Environment) για την μονάδα Kristin 32

5.3 Αποτελέσματα σύγκρισης της προσομοίωσης της Statoil με την νέα προσομοίωση της μονάδας Kristin και την χρήση ψευδοσυστατικών 35

5.3.1 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων του Kristin με βάση τις ροές μάζας (χρήση ψευδοσυστατικών) 36

5.3.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων του Kristin με βάση τις συστάσεις των ρευμάτων (χρήση ψευδοσυστατικών) 37

5.3.3 Σύγκριση προδιαγραφών της μονάδας Kristin 40

6 Προσομοίωση με SRK/PR/UMR_new της μονάδας Kristin και χαρακτηρισμός του βαριού κλάσματος 41

6.1 Αποτελέσματα και σύγκριση των προσομοιώσεων για την μονάδα Kristin με τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού 47

6.1.1 Σύγκριση με βάση τις ροές μάζας των προσομοιώσεων για την μονάδα Kristin με τις τρείς μεθόδους χαρακτηρισμού 48

6.1.2 Σύγκριση με βάση τις συστάσεις των ρευμάτων των προσομοιώσεων για την μονάδα Kristin με τις τρείς μεθόδους χαρακτηρισμού 52

6.1.3Ενεργειακή ανάλυση της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 64

6.1.4 Πρόβλεψη προδιαγραφής σημείου Cricondenbar της μονάδας Kristin..... 66

6.1.5 Επίδραση της μεθόδου χαρακτηρισμού στα αποτελέσματα της προσομοίωσης της μονάδας Kristin 67

6.1.6 Ανάλυση ευαισθησίας με μηδενισμό των συντελεστών αλληλεπίδρασης k_{ij} για την μονάδα Kristin 69

7 Εισαγωγικά στοιχεία για το Aasta Hansteen 77

8 Περιγραφή της διεργασίας του Aasta Hansteen 79

8.1 Απλοποίηση του διαγράμματος ροής της διεργασίας του Aasta Hansteen 82

8.2 Βήματα δημιουργίας της απλοποιημένης προσομοίωσης και σύγκριση με την αρχική 83

8.2.1 Άντληση λειτουργικών και σχεδιαστικών παραμέτρων για την μονάδα του Aasta Hansteen 83

8.2.2 Δημιουργία Λίστας Συστατικών (Component List) της προσομοίωσης του Aasta Hansteen 83

8.2.3 Επιλογή Καταστατικής Εξίσωσης (Fluid Package) για την μονάδα του Aasta Hansteen 86

8.2.4 Δημιουργία διαγράμματος ροής (Simulation Environment) για την μονάδα του Aasta Hansteen 87

8.3 Αποτελέσματα σύγκρισης πλήρους προσομοίωσης του Aasta Hansteen (Statoil) με την απλοποιημένη εκδοχή της και την χρήση ψευδοσυστατικών 89

8.3.1 Σύγκριση με βάση τις ροές μάζας του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά) 90

8.3.2 Σύγκριση με βάση τις συστάσεις των ρευμάτων του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά) 91

8.3.3 Σύγκριση προδιαγραφών της μονάδας Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά) ... 93

8.4 Προσομοίωση με SRK/PR/UMR_new της μονάδας Aasta Hansteen και χαρακτηρισμός του βαριού κλάσματος ... 94

8.4.1 Σύγκριση με βάση τις ροές μάζας των προσομοιώσεων για την μονάδα Aasta Hansteen με τις τρείς μεθόδους χαρακτηρισμού ... 101

8.4.2 Σύγκριση με βάση τις συστάσεις των προσομοιώσεων για την μονάδα Aasta Hansteen με τις τρείς μεθόδους χαρακτηρισμού ... 105

8.4.3 Ενεργειακή ανάλυση της μονάδας Aasta Hansteen ... 120

8.4.4 Πρόβλεψη προδιαγραφών μονάδας Aasta Hansteen ... 121

8.4.5 Επίδραση της μεθόδου χαρακτηρισμού στα αποτελέσματα της προσομοίωσης 123

8.4.6 Ανάλυση ευαισθησίας με μηδενισμό των συντελεστών αλληλεπίδρασης kij για την μονάδα Aasta Hansteen ... 124

9 Συμπεράσματα ... 131

10 Βιβλιογραφία ... 133

Ευρετήριο Πινάκων ... 134

Ευρετήριο Εικόνων ... 139

Ευρετήριο Διαγραμμάτων ... 140

Παράρτημα Α (Kristin) ... 141

Παράρτημα Β (Aasta Hansteen) ... 146

Παράρτημα Γ (Παράμετροι UMR_new) ... 152

Παράρτημα Δ (Πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για τον χαρακτηρισμό βαριού κλάσματος) ... 155

1. Περίληψη

Η ακριβής πρόβλεψη των ιδιοτήτων των μιγμάτων φυσικού αερίου είναι πολύ σημαντική στην βιομηχανία του φυσικού αερίου. Λόγω της πολυπλοκότητας του φυσικού αερίου είναι πολύ σημαντική η ανάπτυξη προσομοιώσεων που μπορούν να προβλέψουν με ακρίβεια την φάση του μίγματος σε δεδομένες συνθήκες, την σύστασή του, πίεση, θερμοκρασία και άλλες ιδιότητες.

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη των προσομοιώσεων για δύο μονάδες παραγωγής φυσικού αερίου στη Νορβηγία που ονομάζονται Kristin και Aasta Hansteen. Οι προσομοιώσεις αναπτύχθηκαν σε Aspen Hysys (έκδοση 8.6). Τα διαγράμματα ροής αυτών των μονάδων επεξεργασίας φυσικού αερίου δόθηκαν από την εταιρεία Statoil μαζί με όλες τις λεπτομέρειες δηλαδή λειτουργικές συνθήκες (πίεση/θερμοκρασία), σύσταση και συστατικά μίγματος τροφοδοσίας καθώς επίσης και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων τους σε Aspen Hysys και PRO/II. Το μίγμα τροφοδοσίας χαρακτηρίστηκε χρησιμοποιώντας 3 διαφορετικές μεθόδους προκειμένου να αντιστοιχιστούν τα ψευδοσυστατικά (κλάσμα C6+) με πραγματικά συστατικά. Τα μοντέλα που αξιολογήθηκαν σε σχέση με την ακρίβειά τους στην πρόβλεψη των γραμμομοριακών ροών, στην πρόβλεψη των συγκεντρώσεων των συστατικών, στην πρόβλεψη των ενεργειακών απαιτήσεων του μηχανολογικού εξοπλισμού και στις προδιαγραφές του φυσικού αερίου είναι οι κυβικές καταστατικές εξισώσεις : *Soave-Redlich-Kwong* και *Peng-Robinson* και επίσης ένα EoS-G^E μοντέλο το UMR_new.

Ακόμα εξετάστηκε η επίδραση των δυαδικών παραμέτρων αλληλεπίδρασης στην πρόβλεψη ροών και συγκεντρώσεων στις προσομοιώσεις. Αυτό σημαίνει πως θα παρουσιαστούν αποτελέσματα στα οποία έγινε εκτίμηση των k_{ij} συντελεστών καθώς επίσης και αποτελέσματα στα οποία οι συντελεστές τέθηκαν μηδέν.

Για να γίνουν οι προσομοιώσεις και να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα με το μοντέλο UMR_new στο Aspen Hysys, χρησιμοποιήθηκε μια εφαρμογή Cape Open γιατί αυτό το μοντέλο δεν είναι ενσωματωμένο στο λογισμικό Aspen. Μια παλαιότερη εφαρμογή Cape Open του εργαστηρίου Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς του ΕΜΠ ανανεώθηκε. Το μοντέλο UMR_new χρησιμοποιεί UNIFAC ομάδες. Αυτό σημαίνει ότι γίνεται προσπάθεια να σπάσει κάθε μόριο σε ομάδες για να λύσει το πρόβλημα της πρόβλεψης αλληλεπιδράσεων. Αλλά στην παλαιότερη μέθοδο δεν υπήρχε ομάδα για το νερό και το υδρόθειο (και δεν ανήκαν σε κάποια άλλη ομάδα) . Έτσι προστέθηκαν αυτές οι ομάδες και η βάση δεδομένων των στοιχείων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στις προσομοιώσεις επεκτάθηκε.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει την ανάπτυξη των προσομοιώσεων στο λογισμικό, την σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τις προσομοιώσεις με ψευδοσυστατικά που μας δόθηκαν από την Statoil. Εν συνεχεία έγινε ο χαρακτηρισμός του βαρύτερου κλάσματος των μιγμάτων τροφοδοσίας των δύο μονάδων. Τέλος λάβαμε τα αποτελέσματα (με όλα τα μοντέλα και τις μεθόδους χαρακτηρισμού) και τα επεξεργαστήκαμε για να μπορέσουμε να βγάλουμε ένα συμπέρασμα ως προς το καλύτερο μοντέλο και την καλύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού.

Σε ότι αφορά τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, βρέθηκε το καλύτερο μοντέλο κατά περίπτωση και η μέθοδος χαρακτηρισμού που είχε τα καλύτερα αποτελέσματα και σε συστάσεις, και σε γραμμομοριακές ροές καθώς και στην πρόβλεψη των προδιαγραφών.

Ευχαριστίες
Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Statoil εταιρεία για την παροχή των προσομοιώσεων αυτών των δύο μονάδων επεξεργασίας φυσικού αερίου και γράφει με τα πειραματικά αποτελέσματα

2. Abstract

The accurate prediction of the properties of natural gas mixtures is very important in natural gas industry. Because of the complexity of natural gas it is very important to build accurate simulations that can predict phase fractions, compositions, pressures, temperatures and other properties.

The aim of this thesis is the development of simulations for two natural gas production units in Norway named Kristin and Aasta Hansteen. The simulations were built in Aspen Hysys (version 8.6). The flow diagrams of those units were provided by Statoil together with operational conditions (temperature/pressure of every unit), feed mixture and compositions as well as results from their simulations in Aspen Hysys and PRO/II. The feed mixture was characterized using 3 different methods in order to correspond pseudo-components (C6+ fraction) with real components. The models that were evaluated with respect to their accuracy in molar flows, in compositions of some important streams, in energy demand prediction and in natural gas specifications are the cubic equations of State: *Soave-Redlich-Kwong* and *Peng-Robinson* and also an EoS-G^E model *UMR_new*.

The effect of binary interaction parameters in prediction of compositions was also examined. This means that results with estimated k_{ij} and zero k_{ij} were compared.

In order to be able to make simulations and present results with UMR_new model in Aspen Hysys, a Cape Open application was used because this model is not built in the Aspen software. An older Cape Open application of the thermodynamics and transport phenomena laboratory of NTUA was renewed. The UMR_new model uses UNIFAC groups. This means that we attempt to break down every molecule in groups to solve the problem of predicting interactions. But in the older method there was no water and hydrogen sulfide group. So these groups were added and the database of components that could be used in simulations was expanded.

When it comes to the results of this work, we found which model and characterization method gave the most accurate results in molar flows, compositions and also natural gas specifications which are the most important parameter for natural gas industry.

Acknowledgements

I would like to thank Statoil Company for providing the simulations of these two gas processing units and also reports with experimental results

3. Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός και η σωστή λειτουργία μιας μονάδας παραγωγής φυσικού αερίου είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα. Η ακριβής πρόβλεψη των ιδιοτήτων φυσικού αερίου ποικίλλων συστάσεων και σε διαφορετικές συνθήκες είναι ζήτημα εξέχουσας αξίας για την βιομηχανία φυσικού αερίου. Για την επιλογή λοιπών των κατάλληλων συνθηκών σε διαχωριστές φάσεων, σε εναλλάκτες θερμότητας, αντλίες ή συμπιεστές πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα λογισμικό προσομοίωσης μαζί με ένα αξιόπιστο μοντέλο πρόβλεψης ώστε να παραχθούν αποτελέσματα πολύ κοντά σε αυτά που τελικά θα προκύψουν. Ακόμα πέρα από την πρόβλεψη των πιο πάνω διεργασιών, πολύ μεγάλη σημασία έχει και η πρόβλεψη των βασικών προδιαγραφών του φυσικού αερίου όπως η μέγιστη θερμοκρασία και η μέγιστη πίεση στην οποία έχει διφασική φύση το μίγμα (Cricondentherm και Cricondenbar), το σημείο δρόσου υδρογονανθράκων (Hydrocarbon Dew Point) και το σημείο δρόσου υδρατμών του μίγματος (Water Dew Point). Για την πρόρρηση της ισορροπίας χρησιμοποιούνται ευρέως θερμοδυναμικά μοντέλα, τόσο στη βιομηχανία όσο και στην έρευνα.

Στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκαν οι προσομοιώσεις δύο μονάδων επεξεργασίας φυσικού αερίου στην Νορβηγία. Αυτές έχουν ως στόχο τον διαχωρισμό του μίγματος τροφοδοσίας σε ελαφρύ ρεύμα (Export Gas ή Sales Gas) το οποίο είναι πλούσιο σε μεθάνιο και σε βαρύ ρεύμα ή συμπύκνωμα (Condensate) που οδηγείται σε διυλιστήριο. Λόγω της πολυπλοκότητας των συστημάτων φυσικού αερίου, ο πλήρης προσδιορισμός τους είναι αδύνατος. Για το σκοπό αυτό το μίγμα αντιμετωπίζεται σε δύο τμήματα, το ελαφρύ, με πλήρως καθορισμένη σύσταση, και το βαρύ κλάσμα (C6+ ή C7+) για το οποίο υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα. Για να είναι δυνατή η αντιμετώπιση του βαριού κλάσματος με θερμοδυναμικά μοντέλα απαιτείται μια διαδικασία απόδοσης στο βαρύ κλάσμα, συγκεκριμένων συστατικών και ιδιοτήτων. Αυτή η διαδικασία καλείται χαρακτηρισμός του βαριού κλάσματος φυσικού αερίου και αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία, ταυτόχρονα όμως και απαραίτητη. Οι μέθοδοι χαρακτηρισμού που χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκαν σε δεδομένα για το βαρύ κλάσμα όπως το κανονικό σημείο βρασμού και το μοριακό βάρος.

Σε ότι αφορά τα θερμοδυναμικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων είναι οι κυβικές καταστατικές εξισώσεις SRK και Peng Robinson καθώς και το EOS-G^E μοντέλο UMR_new. Το τελευταίο μοντέλο αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς. Το λογισμικό προσομοίωσης τώρα που χρησιμοποιήθηκε είναι το Aspen Hysys (version 8.6) στο οποίο όμως δεν έχει ενσωματωθεί το μοντέλο UMR_new. Έτσι η εισαγωγή του μοντέλου έγινε με την χρήση μίας εφαρμογής Cape Open μέσω της οποίας το λογισμικό αντί να χρησιμοποιεί τα ενσωματωμένα μοντέλα πρόβλεψης ζητά και λαμβάνει τις απαραίτητες τιμές των ιδιοτήτων για τους υπολογισμούς από τις υπολογιστικές ρουτίνες του UMR_new . Ακόμα επειδή η εφαρμογή του Cape Open είχε αναπτυχθεί με προηγούμενη βάση δεδομένων (στην οποία δεν υπήρχαν πολλά συστατικά και κυρίως το νερό και το υδρόθειο) στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναβαθμίστηκε.

Σαν κατάληξη της εργασίας θα γίνει σύγκριση των 3 μοντέλων πρόβλεψης για τις 2 μονάδες που προσομοιώθηκαν σε τρία σημεία: στις ροές μάζας βασικών ρευμάτων των διεργασιών, στις συστάσεις αυτών των ρευμάτων καθώς και στην πρόβλεψη ενεργειακών απαιτήσεων των

διεργασιών. Ακόμα θα γίνει σύγκριση πρόβλεψης των προδιαγραφών (specifications) για το εμπορεύσιμο ελαφρύ ρεύμα των διεργασιών (Export Gas) κάτι που ενδιαφέρει πολύ για ποικίλους λόγους την βιομηχανία.

4. Θεωρητικό Μέρος

4.1 Η ιστορία του Φυσικού Αερίου

Η ανακάλυψη του φυσικού αερίου χρονολογείται στην αρχαιότητα στην περιοχή της Μέσης Ανατολής. Χιλιάδες χρόνια πρίν παρατηρήθηκε ότι το φυσικό αέριο αναδύεται και δημιουργεί θερμές πηγές. Στην Περσία, στην Ελλάδα και στην Ινδία οι άνθρωποι συνήθιζαν να χτίζουν ναούς δίπλα σε αυτές τις θερμές περιοχές για θρησκευτικούς λόγους. Παρόλα αυτά η ενεργειακή αξία του φυσικού αερίου δεν αναγνωρίστηκε όχι πρίν το 900 π.Χ. και την Κίνα. Στην ίδια περιοχή δημιουργήθηκε η πρώτη γνωστή περιοχή εξόρυξης φυσικού αερίου το 211 π.Χ. Στην Ευρώπη, το φυσικό αέριο δεν ήταν γνωστό μέχρι την ανακάλυψη του στην Μεγάλη Βρετανία το 1659 αν και η εμπορική του χρήση έγινε από το 1790.Το 1821 στην Fredonia των Η.Π.Α. παρατήρησαν φυσαλίδες ατμού να ανεβαίνουν προς την επιφάνεια σε ένα ρυάκι της περιοχής. Ο William Hart, ο οποίος θεωρείται ο πατέρας του φυσικού αερίου στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής διαμόρφωσε την πρώτη πηγή εξόρυξης στην Βόρεια Αμερική.

Ιστορικά, το φυσικό αέριο ανακαλύφτηκε σαν συνέπεια της αναζήτησης για κοιτάσματα πετρελαίου. Ήρθε πολλές φορές σαν ανεπιθύμητο παραπροϊόν στις έρευνες για κοιτάσματα πετρελαίου, ενώ οι εργάτες αναγκάζονταν να σταματήσουν τις εργασίες και άφηναν το αέριο να διαφύγει χωρίς εκμετάλλευση. Στην εποχή μας και ειδικά μετά την περίοδο ελλείψεων κοιτασμάτων πετρελαίου της δεκαετίας του 1970, το φυσικό αέριο είναι πλέον μία σημαντική πηγή ενέργειας παγκοσμίως. Κατά την διάρκεια του 19^{ου} αιώνα το φυσικό αέριο είχε σαν χρήση σχεδόν αποκλειστικά την παροχή ενέργειας για τον φωτισμό. Επίσης λόγω της έλλειψης τρόπου μεταφοράς και υποδομών η χρήση του αερίου εντοπιζόταν κυρίως σε περιοχές όπου υπήρχε κοντά κοίτασμα. Η σημαντική αλλαγή έγινε το 1890 με την εφεύρεση των στεγανών συνδέσεων για αγωγούς. Βέβαια η μεταφορά του φυσικού αερίου σε μεγαλύτερες αποστάσεις δεν έγινε εφικτή μέχρι την δεκαετία του 1920 λόγω της τεχνολογικής προόδου στους αγωγούς. Η μεγαλύτερη αύξηση της χρήσης και διάδοσης του φυσικού αερίου έγινε εφικτή μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, με την ανάπτυξη δικτύων μεταφοράς (σωληνώσεις) καθώς και συστημάτων αποθήκευσης. (Saeid Mokhatab, 2006)

4.2 Προέλευση και σύσταση του Φυσικού Αερίου

Το φυσικό αέριο υπάρχει στην φύση υπό πίεση σε βραχώδη κοιτάσματα στο υπέδαφος της Γης. Βρίσκεται είτε διαλυμένο σε βαρύτερους υδρογονάνθρακες και νερό είτε μόνο του. Η παραγωγή και ο σχηματισμός του έγινε από υποβάθμιση οργανικής ύλης στο πέρασμα χιλιάδων χρόνων. Οι μηχανισμοί σχηματισμού του που είναι υπεύθυνοι για την υποβάθμιση της οργανικής ύλης είναι δύο: ο βιογενητικός και ο θερμογενητικός. Ο πρώτος αποδίδεται σε αναερόβια βακτήρια τα οποία σε χαμηλές θερμοκρασίες αποδομούν την οργανική ύλη. Ο δεύτερος γίνεται σε μεγαλύτερος βάθος από τον πρώτο με θερμική αποδόμηση (thermal cracking) της οργανικής ύλης σε υγρής φάσης υδρογονάνθρακες και σε αέριο. Το βιογενητικό αέριο αποτελείται σχεδόν

αποκλειστικά από μεθάνιο σε αντίθεση με το θερμογενητικό που έχει επίσης σημαντική συγκέντρωση σε αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο καθώς και βαρύτερους υδρογονάνθρακες.

Σε ότι αφορά την σύσταση του φυσικού αερίου, το κύριο συστατικό αυτού είναι το μεθάνιο. Άλλα συστατικά είναι παραφινικοί υδρογονάνθρακες (όπως αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνια). Πολλά φυσικά αέρια περιέχουν επίσης άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα καθώς επίσης και υδρόθειο. Ίχνη αργού, υδρογόνου και ήλιου μπορεί επίσης να υπάρχουν. Η σύσταση ενός φυσικού αερίου μπορεί να ποικίλει σημαντικά. Στον επόμενο πίνακα συγκεντρώνεται η τυπική σύσταση ενός φυσικού αερίου πρίν αυτό διυλιστεί:

Τυπική Σύσταση Φυσικού Αερίου		
Όνομα	Τύπος	Όγκος (%)
Μεθάνιο	CH4	>85
Αιθάνιο	C2H6	3-8
Προπάνιο	C3H8	1-2
Βουτάνιο	C4H10	<1
Πεντάνιο	C5H12	<1
Διοξείδιο του Άνθρακα	CO2	12
Υδρόθειο	H2S	<1
Άζωτο	N2	1-5
Ήλιο	He	<0.5

Πίνακας 1 Τυπική Σύσταση Φυσικού Αερίου

Έκτος από τα παραπάνω το φυσικό αέριο μπορεί να περιέχει επίσης μικρή ποσότητα κλάσματος C5+. Όταν αυτοί απομονωθούν το κλάσμα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ελαφριά βενζίνη. Ακόμα μπορεί να περιέχει όξινες προσμίξεις όπως μερκαπτάνες (R-SH) καθώς και άλλες θειούχες ενώσεις όπως (COS, CS2) σε μικρές συγκεντρώσεις. Τέλος μπορεί να περιέχει και υδράργυρο (είτε σαν μέταλλο στην αέρια φάση είτε σαν οργανομεταλλικό συστατικό σε υγρά κλάσματα). Οι συγκεντρώσεις γενικά είναι πολύ μικρές αλλά λόγω της τοξικότητάς του καθώς και των διαβρωτικών του ιδιοτήτων είναι πολύ επιβλαβής η παρουσία του.

Το φυσικό αέριο θεωρείται ξηρό όταν αποτελείται από καθαρό μεθάνιο ενώ υγρό θεωρείται όταν υπάρχουν και άλλοι υδρογονάνθρακες στο μίγμα. (Saeid Mokhatab, 2006)

4.3 Ισορροπία Φάσεων Υγρού-Ατμού για το Φυσικό Αέριο

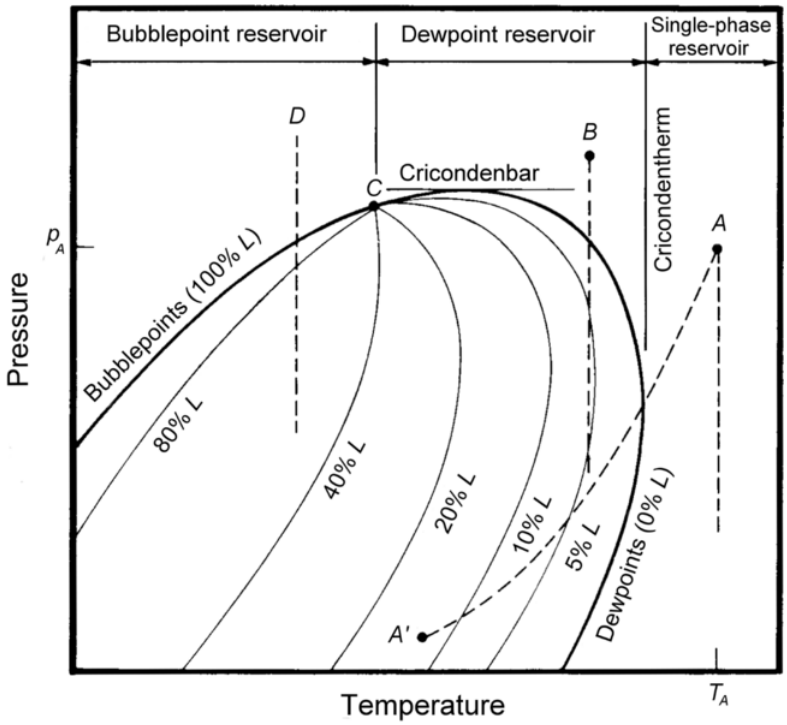
Θερμοδυναμική ισορροπία φάσεων, σε σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας συμβαίνει όταν η ελεύθερη ενέργεια Gibbs του συστήματος γίνει ελάχιστη. Έτσι σε αυτή την περίπτωση η

τάση διαφυγής των φάσεων γίνονται ίσες και επιτυγχάνεται ισορροπία διφασικού συστήματος υγρού ατμού. Η κατάσταση αυτή περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\hat{f}_i^l = \hat{f}_i^v$$

Ο δείκτης i αναφέρεται στο συστατικό i ενώ οι δείκτες l και v αντιστοιχούν στην υγρή (liquid) και ατμώδη (vapor) φάση αντίστοιχα.

Για διάφορες θερμοκρασίες και πιέσεις επιλύοντας την παραπάνω εξίσωση για ένα φυσικό αέριο με συγκεκριμένη σύσταση προκύπτει μια καμπύλης της ακόλουθης μορφής:



Εικόνα 1 Διάγραμμα Φάσεων Φυσικού Αερίου

Τα βασικά χαρακτηριστικά μιας τέτοιας καμπύλης θα αναλυθούν στην συνέχεια. Διαβάζοντας το διάγραμμα από τα δεξιά προς τα αριστερά (από μεγάλες θερμοκρασίες σε μικρότερες) τα σημεία που ενώνονται με την πιο έντονη γραμμή ονομάζονται σημεία δρόσου. Σε αυτά τα σημεία το φυσικό αέριο είναι κορεσμένος ατμός. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες του σημείου δρόσου για δεδομένη πίεση το αέριο είναι σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού. Διαβάζοντας τώρα το διάγραμμα από τα αριστερά προς τα δεξιά τα σημεία που ενώνονται με πιο έντονη σκούρα γραμμή ονομάζονται σημεία φυσαλίδας. Για τις συνθήκες που περιγράφει ο γεωμετρικός τόπος της καμπύλης των σημείων φυσαλίδας το φυσικό αέριο είναι σε κατάσταση κορεσμένου υγρού. Το σημείο όπου οι δύο καμπύλες (bubble και dew points) ενώνονται αποτελεί το κρίσιμο σημείο (C) . Το κρίσιμο σημείο αντιπροσωπεύει την μέγιστη θερμοκρασία στην οποία το ρευστό μπορεί να υπάρξει στην υγρή κατάσταση. Το σημείο μέγιστης πίεσης στο οποίο μπορούν να συνυπάρξουν οι δύο φάσεις ονομάζεται Cricondenbar ενώ το αντίστοιχο σημείο μέγιστης θερμοκρασίας αποτελεί το Cricondentherm. Εσωτερικά οι καμπύλες που χαρακτηρίζονται με

ποσοστά % L αποτελούν τους γεωμετρικούς τόπους των συνθηκών εκείνων στις οποίες το φυσικό αέριο είναι διφασικό μίγμα με ποσό υγρού όσο το ποσοστό που αναγράφεται στην κάθε καμπύλη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι δυνατή η ύπαρξη 2 θερμοκρασιών δρόσου σε δεδομένη πίεση όπως και η ύπαρξη 2 πιέσεων δρόσου σε δεδομένη θερμοκρασία. Αυτό το φαινόμενο αποτελεί την παλινδρομική συμπύκνωση (retrograde condensation).

Γενικώς η συμπεριφορά του φυσικού αερίου είναι συνάρτηση της σύστασης του και επηρεάζεται πολύ από την συγκέντρωση σε βαρύτερους υδρογονάνθρακες ειδικότερα για C6+. (Τασιός, 2001)

4.4 Βασικές ιδιότητες του Φυσικού Αερίου (Φυσικές & Χημικές)

Το Φυσικό Αέριο είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο και ελαφρύτερο του αέρα. Για να είναι κατάλληλο για χρήση θα πρέπει να υποστεί κάποια συγκεκριμένη επεξεργασία με στόχο την μείωση των όξινων αερίων, την ρύθμιση του σημείου δρόσου υδρογονανθράκων και νερού (water & hydrocarbon dew point). Ακόμα η πίεση, η θερμιδική αξία και ο αριθμός Wobbe (Wobbe index) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για την επιτυχή καύση. Επειδή το φυσικό αέριο δεν έχει πρακτικά οσμή, η προσθήκη σε αυτό οσμής είναι απαραίτητη ώστε να ανιχνεύεται σε ατυχήματα ή διαρροές. Η οσμή προέρχεται από κάποια οργανικής προέλευσης συστατικά του θείου (όπως οι μερκαπτάνες) που προστίθενται σε πολύ μικρές ποσότητες πρίν φτάσει το αέριο στον τελικό καταναλωτή. Στον ακόλουθο πίνακα συγκεντρώνονται μερικές σημαντικές ιδιότητες του φυσικού αερίου:

Ιδιότητες Φυσικού Αερίου	
	Τιμές
Σχετική Μοριακή Μάζα	17-20
Περιεκτικότητα σε Άνθρακα (Μαζική %)	23.9
Περιεκτικότητα σε Οξυγόνο (Μαζική %)	0.4
Υδρογόνο/Άνθρακα Atomic Ratio	3-4
Σχετική Πυκνότητα (15 oC)	0.72-0.81
Συγκέντρωση Μεθανίου (Ογκομετρική%	80-99
Συγκέντρωση Αιθανίου (Ογκομετρική%)	2.7-4.6
Συγκέντρωση Αζώτου (Ογκομετρική%)	0.1-15
Συγκέντρωση Διοξειδίου του Άνθρακα (Ογκομετρική%)	1-5
Συγκέντρωση Θείου (ppm)	<5

Πίνακας 2 Ιδιότητες Φυσικού Αερίου (Typical Properties)

4.5 Τρόποι Διανομής Φυσικού Αερίου

Το Φυσικό Αέριο λόγω της δυσκολίας αποθήκευσης πρέπει να μεταφέρεται αμέσως μετά την παραγωγή του. Υπάρχουν αρκετές επιλογές για την μεταφορά φυσικού αερίου στην περιοχή κατανάλωσής του. Οι επιλογές αυτές περιλαμβάνουν δίκτυο αγωγών, υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) , αέριο σε στερεά (GTS) όπως για παράδειγμα οι υδρίτες, αέριο σε ενέργεια (GTP) όπως παραγωγή ηλεκτρισμού από φυσικό αέριο.

Στην συνέχεια θα αναλυθούν εν συντομία αυτά που κρίθηκαν ως πιο σημαντικά δηλαδή το δίκτυο αγωγών, το υγροποιημένο φυσικό αέριο καθώς και το συμπιεσμένο φυσικό αέριο.

4.5.1 Δίκτυο αγωγών

Το δίκτυο αγωγών αποτελεί μία βολική λύση μεταφοράς αλλά στερείται ευελιξίας. Αν το δίκτυο αγωγών πρέπει για κάποιο λόγο να σταματήσει την λειτουργία του η παραγωγή, η κατανάλωση και το διυλιστήριο πρέπει να σταματήσουν επίσης, καθώς το φυσικό αέριο δεν μπορεί να αποθηκευτεί. Την τελευταία δεκαετία πάνω από 12,000 μίλια νέων αγωγών παραδόθηκαν ενώ τα αντίστοιχα στοιχεία για υποθαλάσσιους αγωγούς μιλούν για πάνω από 2000 μίλια.

4.5.2 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο

Η μέθοδος της υγροποίησης του φυσικού αερίου χρησιμοποιείται επιτυχώς ήδη από τα μέσα της δεκαετία του 1970. Το αέριο ψύχεται στους -162°C, υγροποιείται και έχει όγκο 1/600 αυτού που θα είχε σε θερμοκρασία δωματίου. Η μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου γίνεται σε μεγάλα δεξαμενόπλοια που εξασφαλίζουν τις απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας. Η μεταφορά με αυτή την μέθοδο είναι αρκετά ακριβή, οι απώλειες είναι αρκετές κατά την μεταφορά του αλλά είναι πιο συμφέρουσα για μεταφορά σε περιοχές κατανάλωσης πολύ μακριά από τον χώρο παραγωγής (δηλαδή σε περιοχές που κρίνεται μη συμφέρουσα η κατασκευή αγωγών).

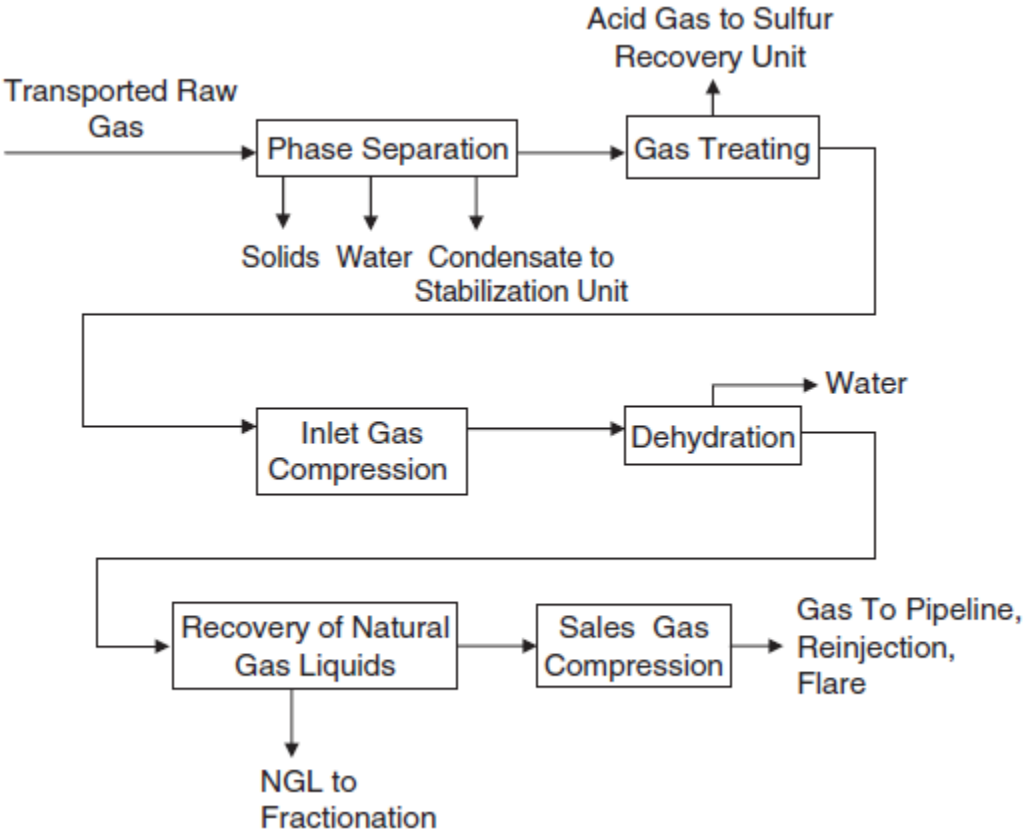
4.5.3 Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο

Εκτός από την επιλογή της μείωσης στην θερμοκρασία υγροποίησης σε ατμοσφαιρική πίεση (περίπτωση υγροποιημένο φυσικού αερίου) υπάρχει επίσης η δυνατότητα αύξησης της πίεσης. Στην περίπτωση του συμπιεσμένου φυσικού αερίου αυτό βρίσκεται σε πίεση 130 bar περίπου για μίγματα τύπου rich gas (περιέχουν σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπανίου κλπ) ενώ στην περίπτωση του lean gas (μίγμα που περιέχει κυρίως μεθάνιο) η πίεση ανεβαίνει στα 250 bar. Το CNG χρησιμοποιείται επίσης σαν εναλλακτικό καύσιμο στα οχήματα μεταφοράς.

4.6 Βασικές αρχές της επεξεργασίας Φυσικού Αερίου

Το ανεπεξέργαστο κοίτασμα φυσικού αερίου δεν είναι εξ αρχής εμπορικά εκμεταλλεύσιμο. Πρέπει να περάσει από κάποια σημαντική επεξεργασία ώστε να οδηγηθεί στα δίκτυα αγωγών για να ξεκινήσει το ταξίδι του προς την περιοχή κατανάλωσης. Ο πρωταρχικός στόχος της διαδικασίας επεξεργασίας φυσικού αερίου είναι ο διαχωρισμός του ίδιου του αερίου από τα βαρύτερα κλάσματα που αποκαλούνται συμπυκνώματα ή condensate, από τα μη συμπυκνώσιμα, τα όξινα αέρια καθώς και ενδεχόμενη παρουσία νερού.

Η τυπική διεργασία που λαμβάνει χώρα για την πιο πάνω επεξεργασία αποτυπώνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 2 Διάγραμμα ροής επεξεργασίας Φυσικού Αερίου

Φυσικά όλες οι παραπάνω διεργασίες δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται σε κάθε εγκατάσταση. Η επεξεργασία εξαρτάται προφανώς από το εισερχόμενο ακατέργαστο μίγμα τροφοδοσίας. Έτσι ανάλογα με την σύσταση του οι συνθήκες καθώς και οι μονάδες επεξεργασίας είναι διαφορετικές.

Τμήματα της διεργασίας επεξεργασίας Φυσικού Αερίου

Αρχικά θα προσπαθήσουμε να συνοψίσουμε τους στόχους μιας μονάδας επεξεργασίας φυσικού αερίου. Αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- Η παραγωγή εμπορεύσιμου αερίου που συμφωνεί με τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί για την ασφαλή μεταφορά του καθώς και την οικιακή ή βιομηχανική χρήση του.
- Η μεγιστοποίηση της παραγωγής υγρών συμπυκνωμάτων που περιέχουν βαρύτερους υδρογονάνθρακες και παράλληλα την παραγωγή αερίου απαλλαγμένου από προσμίξεις και να περιέχει σε μεγάλο ποσοστό μεθάνιο.
- Η μεταφορά εμπορεύσιμου αερίου με συγκεκριμένη ενεργειακή ικανότητα.

Ο αριθμός των βημάτων και των τεχνικών/τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην διεργασία επεξεργασίας φυσικού αερίου εξαρτώνται από την φύση του κοιτάσματος καθώς και τους στόχους της μονάδας. Κάποια από τα σημαντικότερα στάδια της επεξεργασίας είναι τα ακόλουθα:

4.6.1 Διαχωρισμός αερίου από υγρό

Σε πολλές περιπτώσεις η διαδικασία της εκτόνωσης θα οδηγήσει σε φυσικό διαχωρισμό φάσεων. Υπάρχει όμως η πιθανότητα να μην είναι επαρκής η εκτόνωση αλλά να χρειάζονται πολλά στάδια διαχωρισμού του αερίου από τα βαρύτερα κλάσματα υδρογονανθράκων. Ο διαχωρισμός γίνεται είτε με ψύξη (που επιτυγχάνεται με συμπίεση) είτε εναλλακτικά με θέρμανση. Απομακρύνεται έτσι από την κορυφή των κυλινδρικών δοχείων διαχωρισμού το αέριο ενώ από τον πυθμένα απομακρύνεται η υγρή φάση (μπορεί να υπάρχουν και 2 υγρές φάσεις σε περίπτωση παρουσίας και νερού).

4.6.2 Διαδικασία αφυδάτωσης

Η διαδικασία της αφυδάτωσης (dehydration process) είναι απαραίτητη για να εξαλειφθεί η παρουσία του νερού και να αποφευχθεί ο σχηματισμός υδριτών που οδηγούν σε φραγή το δίκτυο αγωγών με το οποίο γίνεται η μεταφορά του αερίου. Η πιο συνήθης τακτική που ακολουθείται είναι η χρήση γλυκόλης (ethylene glycol).

4.6.3 Απομάκρυνση των επιμολύνσεων

Η διαδικασία αυτή που ονομάζεται contaminant removal έχει σαν στόχο την απομάκρυνση του υδροθείου, του διοξειδίου του άνθρακα καθώς και ηλίου και οξυγόνου. Η πιο συνήθης τακτική που ακολουθείται είναι η χρήση αμινών.

4.6.4 Διαχωρισμός Μεθανίου

Για την επίτευξη μεγάλης συγκέντρωσης μεθανίου στο τελικό εμπορεύσιμο προϊόν η τακτική που ακολουθείται είναι η κρυογενική μέθοδος διαχωρισμού. Με αυτή το μίγμα ψύχεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα Natural Gas Liquids (αιθάνιο,προπάνιο,βουτάνια) διαχωρίζονται από το μεθάνιο. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος εφαρμογής της μεθόδου είναι η χρήση διαστολέα (expander).

4.6.5 Κλασμάτωση

Η διαδικασία της κλασμάτωσης (fractionation) έχει να κάνει με τον διαχωρισμό των Natural Gas Liquids σε στάδια ανάλογα με τα σημεία βρασμού αυτών. Δηλαδή αρχικά θερμαίνεται το μίγμα στην θερμοκρασία βρασμού του ελαφρύτερου συστατικού το οποίο διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρις ότου επιτευχθεί πλήρης διαχωρισμός. (Saeid Mokhatab, 2006)

4.7 Ο ρόλος των εργαλείων προσομοίωσης στην βιομηχανία του Φυσικού Αερίου

Η ζήτηση παγκοσμίως για φυσικό αέριο αυξάνει γρήγορα. Γίνεται προσπάθεια παγκοσμίως να αυξηθεί η χρήση του φυσικού αερίου έναντι άλλων ορυκτών καυσίμων (πετρελαίου, κάρβουνου) λόγω των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων που εμφανίζει. Ο βασικός στόχος της βιομηχανίας φυσικού αερίου είναι η αύξηση της παραγωγικότητας καθώς και η μείωση των απαιτήσεων ενέργειας ώστε να μεγαλώσει το περιθώριο κέρδους από την διεργασία. Για να επιτευχθούν οι πιο πάνω στόχοι θα πρέπει να μειωθεί ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή, να αυξηθεί και η ποσότητα και η ποιότητα του προϊόντος που παράγεται και να γίνει βελτιστοποίηση των μονάδων σε όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Στις βιομηχανίες υπεισέρχονται κάποια παράγοντες που περιπλέκουν αυτή την κατάσταση.

Αυτοί οι παράγοντες είναι:

- Το ανθρώπινο σφάλμα
- Οι χρονικοί περιορισμοί

Για να είναι δυνατή η διαχείριση τέτοιων εγκαταστάσεων με επιτυχία και να μειωθούν οι πιθανότητες για σφάλματα δημιουργήθηκαν προσομοιωτές για ηλεκτρονικό υπολογιστή. Κάποιοι σημαντικοί προσομοιωτές είναι το ASPEN PLUS , το HYSYS, το PRO/II οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν και κατά την διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Με την χρήση αυτού του software υπήρξαν πολλά επιχειρηματικά οφέλη όπως:

- Εξασφαλίζουν πιο αποδοτικό και προσοδοφόρο σχεδιασμό
- Βελτιώνουν την δυνατότητα ρύθμισης και λειτουργίας της μονάδας
- Μειώνουν την πιθανότητα ανθρωπίνου λάθους και τις χρονικές απαιτήσεις

Για να γίνει όμως η πρόβλεψη των ιδιοτήτων, των συγκεντρώσεων, των συνθηκών κλπ, ο χρήστης του προσομοιωτή πρέπει να παρέχει κάποιες ελάχιστες πληροφορίες που αποτελούν τα δεδομένα σχεδιασμού της διεργασίας. Στην συνέχεια ο προσομοιωτής χρησιμοποιώντας κάποια στατιστικά μοντέλα (τις καταστατικές εξισώσεις ή Equation Of State EOS) παράγει αποτελέσματα. (Partho & Ruhul , 2011)

Στο επόμενο μέρος θα παρουσιαστούν και αναλυθούν τα στατιστικά μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια στο υπολογιστικό κομμάτι της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δηλαδή η Soave Redlich Kwong , η Peng Robinson καθώς και η Universal Mixing Rule.

4.8 Μοντέλα πρόβλεψης ιδιοτήτων

Οι κυβικές καταστατικές εξισώσεις είναι εξισώσεις οι οποίες όταν διασπαστούν έχουν όρους που περιέχουν τον όγκο σε πρώτη, δεύτερη και τρίτη δύναμη. Η πιο συνήθης χρήση αυτών είναι στην πρόβλεψη ισορροπίας φάσεων (vapour-liquid equilibria) . Το μεγάλο πλεονέκτημα των κυβικών καταστατικών εξισώσεων είναι ότι οι 3 όροι που περιέχουν τον όγκο μπορούν να προσδιοριστούν αναλυτικά χωρίς την ανάγκη επαναληπτικής διαδικασίας.

4.8.1 Κυβική καταστατική εξίσωση van der Waals

Η πρώτη κυβική καταστατική εξίσωση είναι η van der Waals (1873) η οποία είναι και η πιο απλή εξίσωση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πρόρρηση fluid phase equilibria. Αποτελείται από 2 όρους: ο πρώτος εκφράζει τις απωστικές δυνάμεις ενώ ο δεύτερος εκφράζει τις ελκτικές. Η μορφή της κυβικής καταστατικής εξίσωσης είναι η ακόλουθη:

$$p = \frac{R * T}{V - b} - \frac{a}{V^2} \quad (1)$$

Οι δύο παράγοντες a,b εκφράζουν ο μεν πρώτος τις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων ενώ ο δεύτερος σχετίζεται με το μέγεθος των μορίων. Οι παράγοντες δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$a = \frac{27 * R^2 * T_c^2}{64 * p_c} \quad (2)$$

$$b = \frac{R * T_c}{8 * p_c} \quad (3)$$

Η εξίσωση van der Waals ενώ έχει την ευχέρεια πρόβλεψης δυαδικών μιγμάτων είναι σπανίως ακριβής σε ότι αφορά την πρόβλεψη κρίσιμων ιδιοτήτων και υπολογισμούς ισορροπίας φάσεων. Γι αυτό τον λόγο έγιναν πολλές διορθώσεις/αλλαγές στην εξίσωση ώστε να αναιρεθεί αυτό το μειονέκτημα. (Sadus, 1994)

4.8.2 Κυβική καταστατική εξίσωση Soave-Redlich-Kwong

Μία από αυτές είναι η Soave-Redlich-Kwong (1972). Αρχικά οι Redlich-Kwong θέλησαν να αλλάξουν την van der Waals ώστε ο ελκτικός όρος να είναι εξαρτημένος από την θερμοκρασία. Η κυβική καταστατική που πρότειναν (1949) είναι η ακόλουθη:

$$p = \frac{R * T}{V - b} - \frac{a}{V * (V + b) * T^{0.5}} \quad (4)$$

Οι νέοι παράγοντες a,b είναι:

$$a = 0.4278 * \frac{R^2 * T_c^{2.5}}{p_c} \quad (5)$$

$$b = 0.0867 * \frac{R * T_c}{p_c} \quad (6)$$

Το 1972 ο Soave πρότεινε μια νέα τροποποίηση που αφορούσε τον όρο $\alpha/_{T^{0,5}}$. Ο όρος που πρότεινε είναι ένας πιο γενικός θερμοκρασιακά εξαρτώμενος. Ο όρος αυτός a(T) ήρθε να αντικαταστήσει τον προηγούμενο. Έτσι η εξίσωση έγινε:

$$p = \frac{R * T}{V - b} - \frac{a(T)}{V * (V + b)} \quad (7)$$

Όπου a(T) είναι:

$$\mathrm{a(T)} = 0{,}4274 * \left(\frac{R^2 * T_c^2}{p_c}\right) * \langle 1 + m * \left(1 - \left(\frac{T}{T_c}\right)^{0.5}\right)\rangle^2 \quad (8)$$

$$m = 0.480 + 1.57 * \omega - 0{,}176 * \omega^2 \quad (9)$$

$$b = 0.08664 * \frac{R * T_c}{p_c} \quad (10)$$

Όπου ο όρος ω είναι ο ακεντρικός παράγοντας. Ο Soave υπολόγισε τις τάσεις ατμών για μια σειρά από υδρογονάνθρακες και αρκετά δυαδικά μίγματα και αφού συνέκρινε τα αποτελέσματα με αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα παρατήρησε ότι η πειραματική καμπύλη εφάρμοζε καλά με την θεωρητικά υπολογιζόμενη (με την χρήση και της δικιάς του μετατροπής). Ακόμα παρατήρησε ότι προσφέρει καλή πρόβλεψη του κρίσιμου σημείου μιγμάτων. (Redlich & Kwong, 1949), (Soave, 1972)

4.8.3 Κυβική καταστατική εξίσωση Peng Robinson

Η κυβική καταστατική εξίσωση Peng Robinson προτάθηκε το 1976 και είχε ως στόχο τα ακόλουθα: Οι παράμετροι της εξίσωσης είναι συνάρτηση των κρίσιμων ιδιοτήτων και του ακεντρικού παράγοντα, φυσιολογική ακρίβεια κοντά στο κρίσιμο σημείο ειδικά για υπολογισμούς του παράγοντα συμπιεστότητας και της πυκνότητας υγρής φάσης, ένας μόνο δυαδικός παράγοντας αλληλεπίδρασης που είναι ανεξάρτητος της πίεσης, θερμοκρασίας και συγκεντρώσεων απαιτείται για την ανάμιξη και τέλος έχει την ικανότητα πρόρρησης μιγμάτων διεργασιών φυσικού αερίου. (Peng & Robinson, 1976)

Τα αποτελέσματα που προσφέρει είναι παραπλήσια γενικώς με την SRK EoS αν και η PR είναι εξαιρετική στην πρόρρηση πυκνοτήτων υγρής φάσης (ειδικά για μη πολικά συστατικά).

Η μορφή της εξίσωσης είναι η ακόλουθη:

$$p = \frac{R * T}{V - b} - \frac{a(T)}{V * (V + b) + b * (V - b)} \quad (11)$$

Όπου a(T) είναι:

$$a(T) = 0.45724 * \frac{R^2 * T_c^2}{p_c} * \left\{1 + k * \left(1 - \left(\frac{T}{T_c}\right)^{0.5}\right)\right\}^2 \quad (12)$$

$$k = 0.37464 + 1.5422 * \omega - 0.26922 * \omega^2 \quad (13)$$

$$B = 0.07780 * \frac{R * T_c}{p_c} \quad (14)$$

4.8.4 Επίδραση των συντελεστών αλληλεπίδρασης k_{ij} στα αποτελέσματα πρόβλεψης

Για να βρεθούν οι τιμές των συντελεστών διαφυγής ενός συστατικού μέσα σε ένα μίγμα πρέπει να είναι γνωστά τα ακόλουθα:

- Η σύσταση
- Η θερμοκρασία
- Η πίεση
- Οι συντελεστές a_{ii} και b_i που υπολογίζονται μέσα από τις κρίσιμες ιδιότητες και τον ακεντρικό παράγοντα των συστατικών του μείγματος.
- Οι συντελεστές a_{ij} που υπολογίζονται από τα a_{ii},a_{ij} και τους συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij}.

Άρα εκτός από τις κρίσιμες ιδιότητες θερμοκρασίας και πίεσης καθώς και τον ακεντρικό παράγοντα πρέπει να είναι γνωστοί και οι συντελεστές αλληλεπίδρασης όλων των ζευγών του μίγματος.

Στο ερώτημα αν μπορούν τα αποτελέσματα με μηδενικούς συντελεστές αλληλεπίδρασης να είναι αξιόπιστα η απάντηση είναι πως ικανοποιητικές προρρήσεις εμφανίζονται για μείγματα υδρογονανθράκων. Αντίθετα όταν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στο μέγεθος και τον τύπο των μορίων του μείγματος (κυρίως σε μείγματα που περιέχουν μεθάνιο) τότε οι συντελεστές αλληλεπίδρασης είναι απαραίτητοι για ακριβή αποτελέσματα. Ακόμα οι συντελεστές αλληλεπίδρασης είναι απαραίτητοι στην περίπτωση παρουσίας μη υδρογονανθράκων (υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, άζωτο κλπ). (Τασιός, 2001)

4.8.5 Το EOS-G^E μοντέλο UMR

Το μοντέλο UMR είναι ένα EOS-G^E μοντέλο. Αυτό σημαίνει πως συνδυάζει ένα κατάλληλο κανόνα ανάμιξης με μία καταστατική εξίσωση για τον υπολογισμό του συντελεστή ενεργότητας. Επεκτείνεται έτσι η εφαρμογή των καταστατικών εξισώσεων σε πολικά μίγματα.

Πρόκειται στην πραγματικότητα για μία καταστατική εξίσωση (Peng Robinson) που χρησιμοποιεί τους Universal Mixing Rules (UMR). Οι κανόνες ανάμιξης ανήκουν στους επονομαζόμενους EoS-

G^E κανόνες που συνδυάζουν μία καταστατική εξίσωση με ένα μοντέλο περίσσειας ελεύθερης ενέργειας Gibbs. Πιο συγκεκριμένα σε αυτή την περίπτωση η καταστατική εξίσωση Peng Robinson συνδυάζεται με το μοντέλο της UNIFAC που περιλαμβάνει παραμέτρους αλληλεπίδρασης θερμοκρασιακά εξαρτώμενους.

Η περίσσεια της ελεύθερης ενέργειας Gibbs που υπολογίζεται από την καταστατική εξίσωση εξισώνεται για συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης με αυτή που υπολογίζεται από το μοντέλο του συντελεστή ενεργότητας για τον υπολογισμό της παραμέτρου του ελκτικού όρου της καταστατικής εξίσωσης που αποτελεί τελικό τον κανόνα ανάμιξης. Καθώς οι συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας και η σύσταση του μίγματος μεταβάλλεται, η ελεύθερη ενέργεια που υπολογίζεται μεταβάλλεται με την σειρά της. Με αυτόν τον τρόπο έχει πλέον εισαχθεί ο συντελεστής ενεργότητας στην καταστατική εξίσωση.

Η καταστατική εξίσωση Peng Robinson παρουσιάστηκε και προηγουμένως. Το μοντέλο UNIFAC θα παρουσιαστεί συνοπτικά στην συνέχεια. Πρόκειται για μοντέλο συνεισφοράς ομάδων, δηλαδή γίνεται χωρισμός του μορίου της κάθε ένωσης και ανάλυσή του σε groups (ομάδες) :

Ο συντελεστής ενεργότητας αποτελείται από το συνδυαστικό κομμάτι (combinatorial) και από το υπολειμματικό (residual) και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\ln\gamma_i = \ln\gamma_i^{comb} + \ln\gamma_i^{res} \quad (15)$$

Το συνδυαστικό κομμάτι δίνεται από:

$$\ln\gamma_i^{comb} = -5q_i\left(\ln\frac{\varphi_i}{\theta_i} + 1 - \frac{\varphi_i}{\theta_i}\right) \quad (16)$$

Όπου:

$$\varphi_i = \frac{x_i r_i}{\sum_{j=1}^{NC} x_j r_j} \qquad \theta_i = \frac{x_i q_i}{\sum_{j=1}^{NC} x_j q_j} \quad (17)$$

$$r_i = \sum_{k=1}^{NG} v_k^{(i)} R_k \qquad q_i = \sum_{k=1}^{NG} v_k^{(i)} Q_k \quad (18)$$

Ενώ το υπολειμματικό κομμάτι δίνεται από:

$$\ln\gamma_i^{res} = \sum_{k=1}^{NG} v_k^{(i)}\left(\ln\Gamma_k - \ln\Gamma_k^{(i)}\right) \quad (19)$$

$$\ln \Gamma_k = Q_k \left[1 - \ln\left(\sum_{m=1}^{NG} \theta_m \Psi_{mk} \right) - \sum_{m=1}^{NG} \frac{\theta_m \Psi_{km}}{\sum_{n=1}^{NG} \theta_n \Psi_{nm}} \right] \quad (20)$$

Όπου:

$$\theta_m = \frac{Q_m X_m}{\sum_{n=1}^{NG} Q_n X_n}, \qquad X_m = \frac{\sum_{j=1}^{NC} v_m^{(j)} x_j}{\sum_{j=1}^{NC} \sum_{n=1}^{NG} v_n^{(j)} x_j} \quad (21)$$

Τελικά οι εκφράσεις της UNIFAC για την περίσσεια της ελεύθερης ενέργειας Gibbs δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις (Louli, 2012), (Voutsas, 2006), (Vasiliki Louli, 2007):

$$\frac{G_{AC}^{E,SG}}{RT} = \sum_{i=1}^{NC} x_i \ln \gamma_i^{comb} \quad \text{και} \quad \frac{G^{E,res}}{RT} = \sum_{i=1}^{NC} x_i \ln \gamma_i^{res} \quad (22)$$

Το UMR_new το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία αποτελεί μια νέα εκδοχή του μοντέλου που συνδυάζει την κυβική καταστατική εξίσωση Peng-Robinson με ένα μοντέλο τύπου Unifac.Οι συντελεστές αλληλεπίδρασης που εισήχθησαν στην PR βελτιώνουν ακόμα περισσότερο την πρόρρηση των σημείων δρόσου ειδικά σε πιέσεις κοντά στο Cricondenbar. Θεωρείται πλέον μια πολύ καλή εναλλακτική επιλογή των κλασσικών κυβικών εξισώσεων σε συστήματα φυσικού αερίου.

Η διαφορά της νέας αυτής παραλλαγής σε σχέση με την προηγούμενη είναι ότι αλλάζει ο υπολογισμός της παραμέτρου a που γίνεται πλέον από την ακόλουθη σχέση:

$$a = \left[1 + C1 * \left(1 - \sqrt{Tr}\right) + C2 * \left(1 - \sqrt{Tr}\right)^2 + C3 * \left(1 - \sqrt{Tr}\right)^3\right]^2 \quad (22)$$

στην περίπτωση που το Tr<1 (υποκρίσιμες συνθήκες).

Αντίθετα στην περίπτωση που βρισκόμαστε σε υπερκρίσιμες συνθήκες τότε παραλείπονται οι όροι των C2 και C3 και η σχέση γίνεται:

$$a = \left[1 + C1 * \left(1 - \sqrt{Tr}\right) + C2 * \left(1 - \sqrt{Tr}\right)^2 + C3 * (1 - \sqrt{Tr})^3\right]^2 \quad (23)$$

Τα C1,C2,C3 ονομάζονται σταθερές Mathias-Copeman και είναι συγκεκριμένοι για κάθε συστατικό. Στην περίπτωση που βιβλιογραφικά δεν υπάρχουν δεδομένα για τους συντελεστές τότε υπολογίζεται ο συντελεστής C1 από την ακόλουθη σχέση:

$$C1 = 0.37464 + 1.54226 * \omega - 0{,}26992 * \omega^2 \quad (24)$$

Οι άλλοι συντελεστές (C2,C3) θεωρούνται ίσοι με την μονάδα.

Οι ομάδες της Unifac που χρησιμοποιήθηκαν για το σπάσιμο του μορίου της ένωσης παρουσιάζονται στο σχετικό παράρτημα για το UMR.

Στο UMR-new συμπεριλαμβάνονται δυαδικές παράμετροι αλληλεπίδρασης (PoI) μεταξύ των συστατικών, που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και υπολογίζονται από τη σχέση:

$$PoI = AA + BB * (T - 298.15) + CC * (T - 298.15)^2 (25)$$

Οι παράμετροι AA,BB,CC που χρησιμοποιούνται βρίσκονται στο σχετικό παράρτημα.

4.9 Μέθοδοι Χαρακτηρισμού βαριού κλάσματος Φυσικού Αερίου

Αφού παρουσιάστηκαν συνοπτικά τα μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν εν συνεχεία στο υπολογιστικό κομμάτι της παρούσας διπλωματικής εργασίας στην συνέχεια γίνει αναφορά σε ένα άλλο θέμα που αντιμετωπίσθηκε στα πλαίσια της εργασίας και απασχολεί επίσης την βιομηχανία φυσικού αερίου.

Όπως ήδη αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα η γνώση της σύστασης τροφοδοσίας της μονάδας επεξεργασίας φυσικού αερίου είναι πάρα πολύ σημαντική γιατί καθορίζει όλη την μετέπειτα διεργασία. Οι αναλύσεις που γίνονται μέσα από χρωματογραφήματα δίνουν αναλυτική σύσταση μέχρι και το κανονικό εξάνιο. Από εκεί και πέρα οι συστάσεις σε βαρύτερες ενώσεις είναι άγνωστες. Η αντιμετώπιση το προβλήματος μπορεί να γίνει είτε με συνεχούς μορφής μοντέλα, ασυνεχούς ή ημισυνεχούς. Στην πρώτη περίπτωση το βαρύτερο κλάσμα αντιμετωπίζεται σαν ενιαίο, στην δεύτερη χωρίζεται σε υποκλάσματα με κοινές ιδιότητες (πχ κανονικό σημείο βρασμού, μοριακό βάρος, σχετική πυκνότητα) οπότε καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός των κρίσιμων ιδιοτήτων και του ακεντρικού παράγοντα μέσα από συσχετίσεις. Η τρίτη περίπτωση χαρακτηρισμού είναι ένας συνδυασμός των δύο πρώτων.

Η μεθοδολογίες χαρακτηρισμού μπορεί να καταλήγουν σε πραγματικά συστατικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα EoS-G^E μοντέλα που απαιτούν τα μοντέλα συντελεστή ενεργότητας (βλέπε UNIQUAC,UNIFAC κλπ). Επίσης το αποτέλεσμα του χαρακτηρισμού μπορεί να είναι τελικά ψευδοσυστατικό κάτι που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα πιο πάνω μοντέλα (όπως και για το μοντέλο της UMR). (Gray R.D., 1989)

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ακόλουθες:

- Εύρεση συστατικού για χαρακτηρισμό υποκλάσματος με βάση το κανονικό σημείο βρασμού.
- Εύρεση συστατικού για χαρακτηρισμό υποκλάσματος με βάση το μοριακό βάρος.

Με τις πιο πάνω μεθόδους γίνεται χρήση των αποτελεσμάτων της χρωματογραφίας και αντιστοιχείται το κανονικό σημείο βρασμού/μοριακό βάρος του υποκλάσματος σε ένα πραγματικό συστατικό. Η αντιστοίχιση γίνεται με την χρήση της βάσης δεδομένων συστατικών του Εργαστηρίου Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς.

5. Υπολογιστικό Μέρος

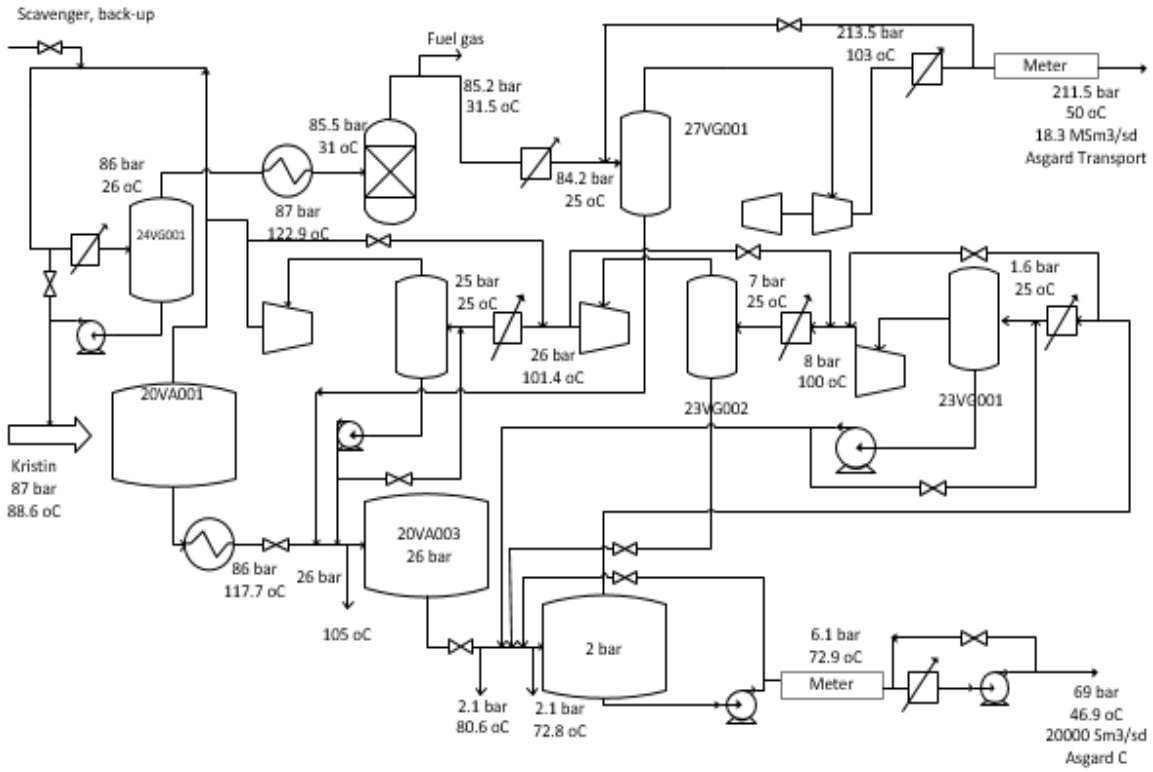
5.1 Εισαγωγικά Στοιχεία Μονάδας Kristin

Το Kristin είναι μία offshore μονάδα παραγωγής και διαχωρισμού αερίου και συμπυκνώματος (condensate). Βρίσκεται στο νοτιοδυτικό κομμάτι του Haltenbanken, στις ακτές της Νορβηγίας. Το κοίτασμα βρίσκεται σε βάθος 4800 μέτρων κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, ενώ η πίεση του κοιτάσματος ανέρχεται στα 900 bar και η θερμοκρασία του στους 170 ^{o}C (η υψηλότερη που έχει καταγραφεί στον Βόρειο Παγωμένο Ωκεανό).

Σχεδιαστικά η ημερήσια δυναμικότητα της πλατφόρμας ανέρχεται στα 126,000 barrels συμπυκνώματος και $18*10^6$ m^3 rich gas. Το αέριο προορίζεται να μεταφερθεί με σωληνώσεις μέσω του μεταφορικού συστήματος του Åsgard στο κέντρο επεξεργασίας φυσικού αερίου στο Stavanger με στόχο την περαιτέρω κλασμάτωση και διαχωρισμό.

Η διεργασία που λαμβάνει χώρα στο Kristin έχει σαν στόχο την επίτευξη της προδιαγραφής για το Cricondenbar[(1)] (105 bar) με την τελική πίεση στο σύστημα μεταφοράς μέσα από τις σωληνώσεις να είναι 211.5 bar στους 50°C. Το αέριο μεταφέρεται στο Kårstø στα 100bar από όπου μεταφέρεται μέσω δικτύου αγωγών στην ηπειρωτική Ευρώπη. Η ποσότητα του συμπυκνώματος (20000 Sm^3/sd) μεταφέρεται μέσω αγωγών στο Åsgard C από όπου εξάγεται μέσω δεξαμενοπλοίων.

Το διάγραμμα ροής της μονάδας όπως μας δόθηκε από την Statoil είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 3 Διάγραμμα ροής μαζί με λειτουργικές συνθήκες της διεργασίας του Kristin (Πηγή δεδομένων Statoil)

Στην συνέχεια θα ακολουθήσει μια λίγο πιο λεπτομερής περιγραφή της διεργασίας που λαμβάνει χώρα στο Kristin:

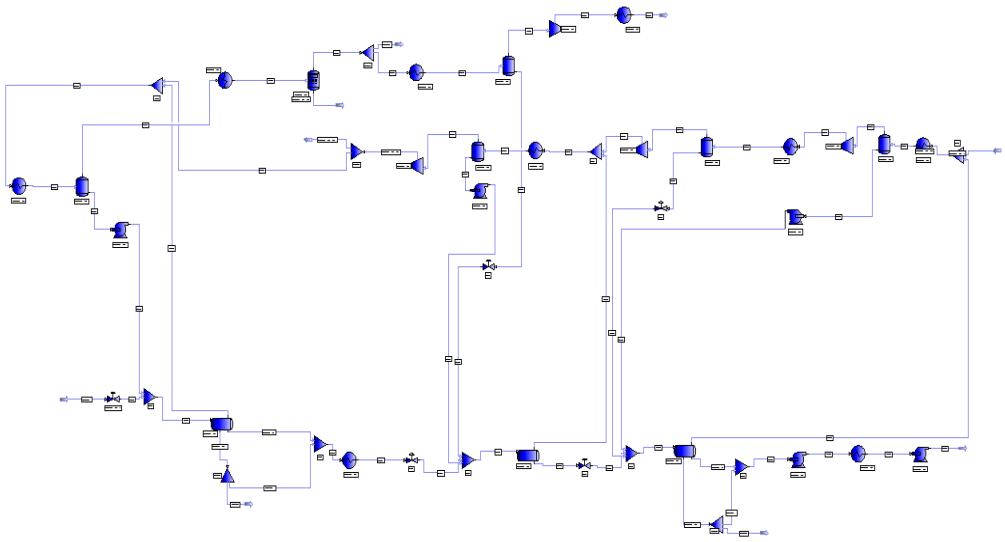
Η διεργασία που λαμβάνει χώρα στο Kristin έχει σαν σκοπό τον διαχωρισμό του ελαφρού κλάσματος του εισερχόμενου από το κοίτασμα μίγματος από το βαρύ κλάσμα αυτού. Το ελαφρύ κλάσμα θα οδηγηθεί για περαιτέρω επεξεργασία για να χρησιμοποιηθεί τελικώς ως φυσικό αέριο. Αντίθετα το βαρύτερο κλάσμα αφού απομονωθεί οδηγείται σε διυλιστήριο για τον διαχωρισμό των πετρελαϊκών κλασμάτων. Η διαδικασία βασίζεται σε διαδοχικές εκτονώσεις (flash) για τον διαχωρισμό των βαρύτερων κλασμάτων που πέφτουν ως υγρό και των ελαφρύτερων που απομακρύνονται στην αέρια φάση. Η αέρια φάση επειδή δεν περιέχει μόνο μεθάνιο που είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου αλλά και άλλους ελαφρούς υδρογονάνθρακες όπως αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο πρέπει να επεξεργαστεί εκ νέου αρχικά σε ένα δοχείο εκτόνωσης όπου φεύγουν τα βαρύτερα κλάσματα που ίσως έχουν βρεθεί σε μικρή περιεκτικότητα στην αέρια φάση και στην συνέχεια με θέρμανση διαχωρίζεται το fuel gas (μίγμα αιθανίου,προπανίου,βουτανίου) από το ελαφρύτερο μεθάνιο σε διαχωριστήρα σταθερής κλίνης. Σε ότι αφορά το βαρύ κλάσμα αυτό με την σειρά του διερχόμενο από μια σειρά δοχείων εκτόνωσης απαλλάσσεται από το ελαφρύ κλάσμα. Στο τελευταίο στάδιο διαχωρισμού των 2 κλασμάτων το ελαφρύτερο αυτού οδηγείται σε μία σειρά δοχείων εκτόνωσης και συμπιεστών-εναλλακτών ώστε κάθε υπόλειμμα ελαφρού κλάσματος και βαριού κλάσματος να απομονωθεί εν τέλει.

Πιο συγκεκριμένα το κοίτασμα φτάνει στην μονάδα Kristin σε πίεση 87 bar και θερμοκρασία 88,6 ^{o}C. Μετά το πρώτο δοχείο εκτόνωσης το ελαφρύ κλάσμα οδηγείται σε εναλλάκτη θερμότητας όπου ψύχεται στους 28 ^{o}C και στο δοχείο εκτόνωσης που ακολουθεί τα υπολείμματα του βαριού κλάσματος από το κοίτασμα οδηγούνται αφού επανασυμπιεστούν με αντλία ξανά στην είσοδο του πρώτου δοχείου εκτόνωσης. Το ελαφρύ κλάσμα συνεχίζει αφού θερμανθεί σε εναλλάκτη θερμότητας στους 31 ^{o}C σε διαχωριστήρα σταθερής κλίνης διαχωρίζεται από το fuel gas που απομακρύνεται. Ακολουθεί ψύξη στους 25 ^{o}C και δοχείο εκτόνωσης όπου τα υπολείμματα του βαρύτερου κλάσματος οδηγούνται στην γραμμή που καταλήγει σε πετρελαϊκό μίγμα. Το ελαφρύ μείγμα οδηγείται μέσω αγωγού σε πίεση 211,5 bar και θερμοκρασία 50 ^{o}C προς περαιτέρω επεξεργασία. Σε ότι αφορά το βαρύ υπόλειμμα του πρώτου δοχείου εκτόνωσης αυτό αφού θερμανθεί οδηγείται εκ νέου σε δοχείο εκτόνωσης. Το υγρό προϊόν του δοχείου αυτού εκτονώνεται εκ νέου με την πίεση σε κάθε δοχείο να είναι χαμηλότερη του προηγούμενου. Η αέρια φάση του κάθε δοχείου εκτόνωσης οδηγείται σε ένα σύστημα δοχείου εκτόνωσης-συμπιεστή-εναλλάκτη με 3 βαθμίδες. Το τελικό προϊόν οδηγείται στην γραμμή του ελαφρύτερου κλάσματος ενώ το υγρό υπόλειμμα σε κάθε βαθμίδα οδηγείται αφού συμπιεστεί με αντλία στο σύστημα που απομονώνει το πετρελαϊκό προϊόν. Το προϊόν που οδηγείται σε διυλιστήριο μεταφέρεται σε πίεση 69bar και θερμοκρασία 46,9 ^{o}C.

5.2 Τα βήματα της προσομοίωσης της μονάδας Kristin

5.2.1 Άντληση λειτουργικών και σχεδιαστικών παραμέτρων

Για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση δόθηκε από την Statoil η προσομοίωση που είχαν πραγματοποιήσει το 2007 στο υπολογιστικό πακέτο PRO/II. Έτσι πέρα από το διάγραμμα ροής και τις βασικές πιέσεις θερμοκρασίες είχαμε πρόσβαση και σε άλλες σχεδιαστικές παραμέτρους όπως οι πτώσεις πίεσης στον μηχανολογικό εξοπλισμό αλλά και τα αποτελέσματα συγκεντρώσεων, ροών, θερμοκρασιών, προδιαγραφών σε όλα τα βασικά ρεύματα που ενδιαφέρουν περισσότερο. Η μορφή του διαγράμματος ροής είναι η ακόλουθη:

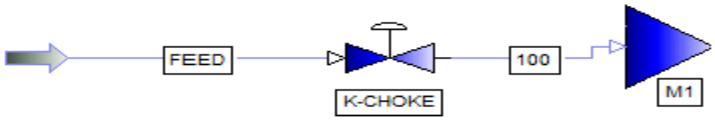


Εικόνα 4 Διάγραμμα ροής μονάδας Kristin στο PRO/II (Πηγή Statoil)

Το PRO/II όπως προείπαμε πρόκειται για ένα υπολογιστικό πακέτο για προσομοιώσεις όπως και το Aspen Hysys. Το χρησιμοποιήσαμε για να αντλήσουμε συγκεντρώσεις, θερμοκρασίες και πιέσεις καθώς και πτώση πίεσης για όλα τα κομμάτια του μηχανολογικού εξοπλισμού. Το PRO/II έχει την δυνατότητα επιλέγοντας ένα ρεύμα/στοιχείο μηχανολογικού εξοπλισμού να εκτυπώσει τα αποτελέσματα του είτε σε μορφή Notepad είτε σε μορφή υπολογιστικών φύλλων (Spreadsheet) στο Microsoft Excel. Έτσι μπορούσαμε με ακρίβεια να προσδιορίσουμε όσες ιδιότητες ήταν απαραίτητες για τον σχεδιασμό της προσομοίωσής μας σε Aspen Hysys.

Στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε ένα παράδειγμα για ένα ρεύμα και επίσης άλλο ένα παράδειγμα για ένα στοιχείο μηχανολογικού εξοπλισμού.

Ας πάρουμε ως παράδειγμα το ρεύμα τροφοδοσίας (Feed) της μονάδας:



Εικόνα 5 Ρεύμα τροφοδοσίας της μονάδας Kristin στην προσομοίωση του PRO/II

Επιλέγοντάς το View Results (Molar Results) μας εκτυπώνει τα αποτελέσματα του ρεύματος στο πρόγραμμα Notepad++ δίνοντας πληροφορίες για την μολαρική ροή, την θερμοκρασία, την πίεση το μοριακό βάρος, το κλάσμα ατμού/υγρού δηλαδή την φάση του ρεύματος , την ενθαλπία και το συντελεστή θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση (Cp). Τέλος παρουσιάζει τα αποτελέσματα συγκεντρώσεων των συστατικών είτε σε μολαρική ροή είτε σε ποσοστά σε κάθε φάση (υγρή, αέρια αλλά και συνολικά). Η μορφή του εγγράφου είναι η ακόλουθη:

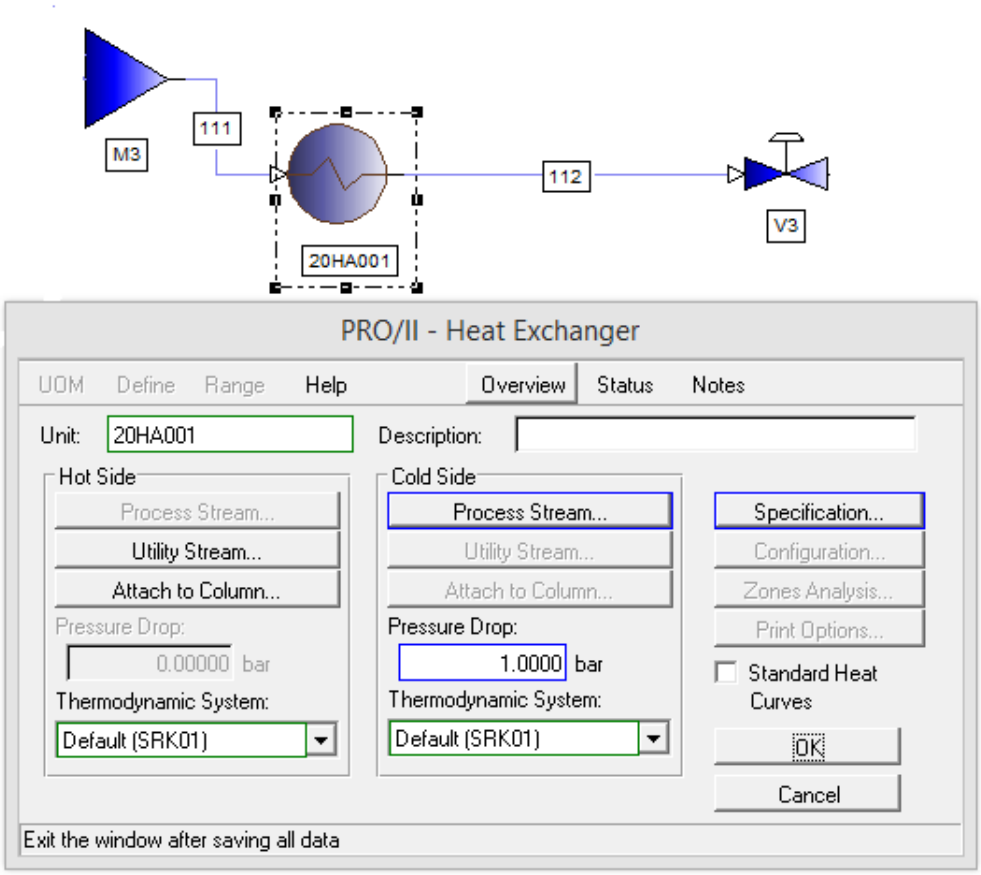
THERMODYNAMIC SYSTEM SRK

STREAM 'FEED'

	TOTAL	VAPOR	LIQUID	DECANT H2O
RATE, KG-MOL/HR	49496.6754	31328.6247	5887.4480	12280.6028
TEMPERATURE, C	92.00	92.00	92.00	92.00
PRESSURE, BAR	90.00	90.00	90.00	90.00
MOLECULAR WEIGHT	30.5253	21.6430	103.8860	18.0150
FRACTION		0.6329	0.1189	0.2481
ENTHALPY, KJ/KG-MOL	10424.3454	8530.3621	27518.7291	7060.7969
CP, KJ/KG-C	2.7702	2.6307	2.4128	4.1861
MOLAR FLOWRATES, KG-MOL/HR				
1 - H2O	12656.2692	324.5170	51.1494	12280.6028
2 - N2	114.2040	111.7060	2.4980	
3 - CO2	1237.8240	1139.3675	98.4565	
4 - C1	25905.8887	24573.8360	1332.0521	
5 - C2	3205.0800	2804.8691	400.2109	
6 - C3	1536.2281	1198.1979	338.0302	
7 - IC4	309.4560	213.1739	96.2821	
8 - NC4	552.6000	356.0520	196.5480	
9 - IC5	206.3040	109.0979	97.2062	
10 - NC5	217.3560	106.2446	111.1114	
11 - GIC6	320.5080	110.8187	209.6894	
12 - GIC7	537.8640	124.8885	412.9756	
13 - GIC8	593.1240	91.6575	501.4666	
14 - GIC9	383.1360	37.8782	345.2579	
15 - GIC10-C14	902.5800	25.3344	877.2457	
16 - GIC15-C24	637.3320	0.6484	636.6837	
17 - GIC25+	180.5160	8.8615E-05	180.5159	
18 - H2S	0.4053	0.3370	0.0683	
MOLAR COMPOSITIONS				
1 - H2O	0.2557	0.0104	8.6879E-03	1.0000
2 - N2	2.3073E-03	3.5656E-03	4.2429E-04	
3 - CO2	0.0250	0.0364	0.0167	
4 - C1	0.5234	0.7844	0.2263	
5 - C2	0.0648	0.0895	0.0680	
6 - C3	0.0310	0.0382	0.0574	
7 - IC4	6.2521E-03	6.8044E-03	0.0164	
8 - NC4	0.0112	0.0114	0.0334	
9 - IC5	4.1680E-03	3.4824E-03	0.0165	
10 - NC5	4.3913E-03	3.3913E-03	0.0189	
11 - GIC6	6.4753E-03	3.5373E-03	0.0356	
12 - GIC7	0.0109	3.9864E-03	0.0701	
13 - GIC8	0.0120	2.9257E-03	0.0852	
14 - GIC9	7.7406E-03	1.2091E-03	0.0586	
15 - GIC10-C14	0.0182	8.0867E-04	0.1490	
16 - GIC15-C24	0.0129	2.0696E-05	0.1081	
17 - GIC25+	3.6470E-03	2.8286E-09	0.0307	
18 - H2S	8.1879E-06	1.0755E-05	1.1605E-05	

Εικόνα 6 Φύλλο αποτελεσμάτων του PRO/II

Σε ότι αφορά ένα στοιχείο μηχανολογικού εξοπλισμού θα παρουσιάσουμε τις πληροφορίες που παρέχονται για έναν εναλλάκτη:



Εικόνα 7 Επεξεργασία μηχανολογικού εξοπλισμού στο PRO/II

Έτσι βλέπουμε την καθορισμένη πτώση πίεσης σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό μέσα στον εναλλάκτη ενώ την διαφορά θερμοκρασίας για τα 2 ρεύματα (111 και 112 στην συγκεκριμένη περίπτωση) την διαπιστώνουμε με βάση τις θερμοκρασίες που βρίσκουμε με την εκτύπωση των πληροφοριών του ρεύματος.

5.2.2 Δημιουργία νέας προσομοίωσης για την μονάδα Kristin στο Aspen HYSYS

Η προσομοίωσή μας δημιουργήθηκε στο Aspen Hysys (version 8.6). Πρόκειται για ένα ευρέως διαδεδομένο λογισμικό δημιουργίας προσομοιώσεων. Παρέχει μία μεγάλη βάση δεδομένων (database) με συστατικά που ενημερώνεται διαρκώς με τις νέες εκδόσεις του. Είναι εύχρηστο και προσφέρει πολλές δυνατότητες για βελτιστοποίηση. Έγινε χρήση 3 καταστατικών εξισώσεων (SRK, Peng Robinson και UMR_new). Για να διαπιστωθεί η ακρίβεια της δικιάς μας προσομοίωσης σε σχέση με την προσομοίωση που μας δόθηκε, αρχικά θα χρησιμοποιηθούν τα ψευδοσυστατικά με τις ιδιότητες τους και χρήση της ίδιας καταστατικής εξίσωσης (SRK), ενώ στην συνέχεια θα γίνει προσπάθεια χαρακτηρισμού του βαριού κλάσματος και τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με αυτά της Statoil με τις καταστατικές εξισώσεις SRK,PR και UMR_new.

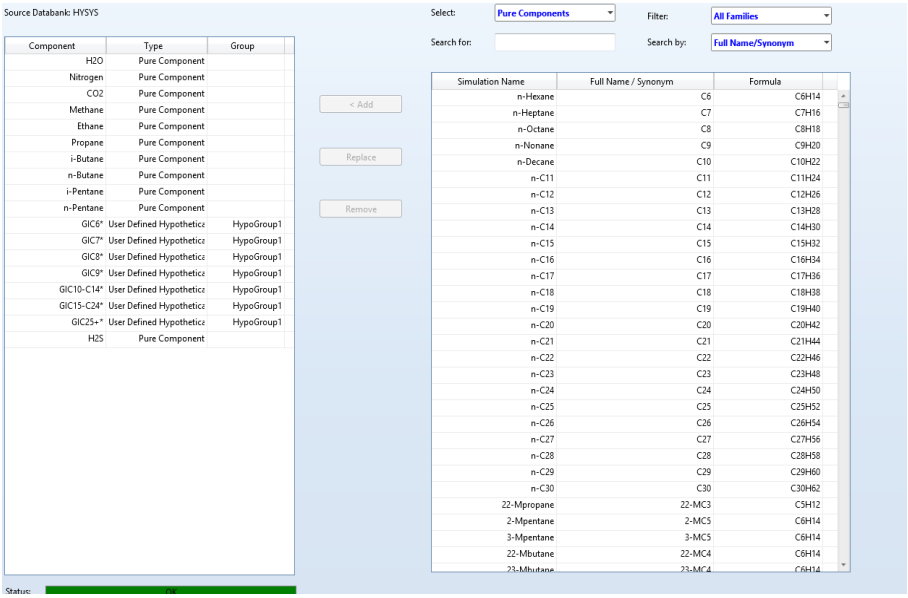
5.2.3 Δημιουργία λίστας συστατικών (Component List) για την μονάδα Kristin

Το πρώτο βήμα της δημιουργίας της προσομοίωσής είναι η επιλογή των συστατικών του μίγματος τροφοδοσίας της μονάδας. Τα στοιχεία για τα συστατικά αυτά τα αντλούμε από την προσομοίωση της Statoil στο PRO/II.Τα πραγματικά και τα ψευδοσυστατικά του ρεύματος τροφοδοσίας (με αρχικά GIC) συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Αύξων Αριθμός συστατικού	Όνομα Συστατικού
1	H2O
2	N2
3	CO2
4	C1
5	C2
6	C3
7	IC4
8	NC4
9	IC5
10	NC5
11	GIC6
12	GIC7
13	GIC8
14	GIC9
15	GIC10-C14
16	GIC15-C24
17	GIC25+
18	H2S

Πίνακας 3 Συστατικά ρεύματος τροφοδοσίας Kristin

Η μορφή της εισαγόμενης λίστας συστατικών στο HYSYS είναι η ακόλουθη:



Πίνακας 4 Λίστα εισαγωγής συστατικών στο HYSYS

Τα στοιχεία 11-17 της λίστας είναι (GIC6,GIC7,GIC8,GIC9,GIC10-C14,GIC15-C24.GIC25+) είναι ψευδοσυστατικά, δηλαδή είναι συστατικά στα οποία αποδίδονται κάποιες ιδιότητες που αντλούνται από την προσομοίωση της Statoil στο PRO/II καθώς και τη σχετική αναφορά για την μονάδα του Kristin.Για το C_{6+} κλάσμα του μίγματος τροφοδοσίας (δηλαδή τα συστατικά που έχουν από έξι άτομα άνθρακα και πάνω) στο Kristin είναι διαθέσιμες οι ακόλουθες ιδιότητες (κανονικό σημείο βρασμού (NBP), πυκνότητα υγρής φάσης (St. Liquid Density) και μοριακό βάρος (Mol. Weight) και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

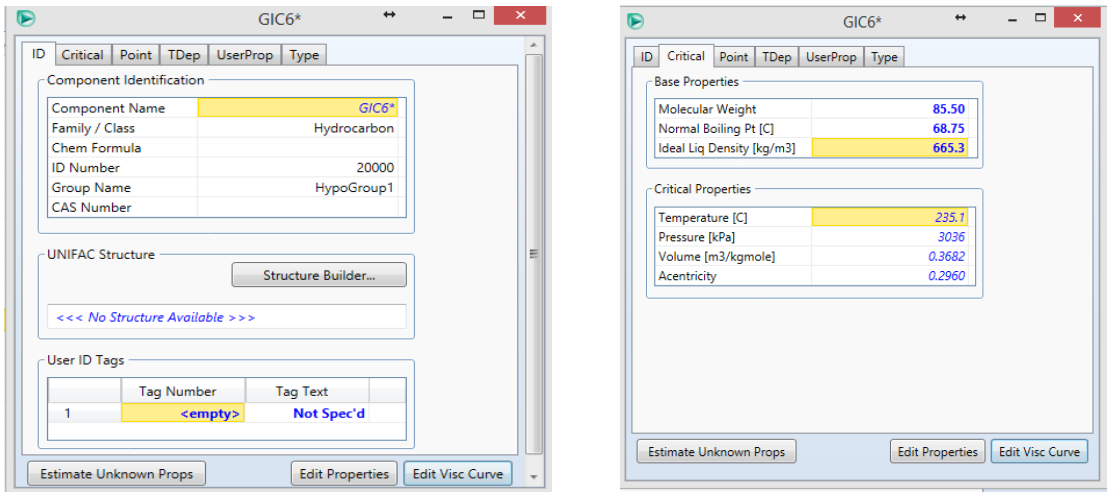
Ψευδοσυστατικά			
Όνομα	Κανονικό σημείο Βρασμού (°C)	Πυκνότητα υγρής φάσης σε κανονικές συνθήκες[1] (kg/m3)	Μοριακό Βάρος
GIC6	68.75	665.33	85.503
GIC7	91.95	744.33	91.063
GIC8	116.75	768.33	103.607
GIC9	142.25	785	117.197
GIC10-C14	204.01	800	155.038
GIC15-C24	317.75	845.66	249.983
GIC25+	479.99	897.67	458.762

Πίνακας 5 Ιδιότητες Ψευδοσυστατικών προσομοίωσης Kristin

Όπως είπαμε και προηγουμένως αρχικά για να διαπιστωθεί η πιστότητα της δικιάς μας προσομοίωσης σε σχέση με αυτή που μας δόθηκε από την Statoil, αρχικά θα μελετηθούν τα αποτελέσματα με ψευδοσυστατικά και χρήση της SRK ενώ στην συνέχεια θα γίνει προσπάθεια χαρακτηρισμού του βαριού κλάσματος με βάση της ιδιότητες των ψευδοσυστατικών. Ο χαρακτηρισμός στην περίπτωση του UMR κρίνεται απαραίτητος λόγω του γεγονότος ότι η καταστατική εξίσωση χρησιμοποιεί ένα μοντέλο συνεισφοράς ομάδων. Πιο συγκεκριμένα κάθε compound αναλύεται σε group της UNIFAC. Άρα η χημική δομή των compounds που θα χρησιμοποιήσουμε πρέπει να είναι σωστά ορισμένη για την εφαρμογή του μοντέλου. Αρχικά θα παρουσιάσουμε τον τρόπο με τον οποίο δημιουργήσαμε τα ψευδοσυστατικά για την προσομοίωση με SRK στο λογισμικό και την σύγκριση αυτής με την προσομοίωση της Statoil.

Το παράθυρο (inputbox) του Hysys όπου εισαγάγαμε τις διαθέσιμες πληροφορίες από τον πιο πάνω πίνακα για το κάθε συστατικό είναι το ακόλουθο:

[1] *Κανονικές συνθήκες: Θερμοκρασία 0°C και πίεση 1 atm*



Εικόνα 8 Μενού εισαγωγής ψευδοσυστατικών στο HYSYS

5.2.4 Επιλογή καταστατικής εξίσωσης (Fluid Package) για την μονάδα Kristin

Στην συνέχεια γίνεται επιλογή της καταστατικής εξίσωσης (SRK) με την οποία θα γίνει η αρχική σύγκριση και επιβεβαίωση πως η προσομοίωση που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έχει ικανοποιητική συνάφεια με την προσομοίωση της Statoil στο PRO/II.

Η επιλογή γίνεται μέσα από το βασικό μενού του HYSYS. Στο σημείο ορισμού ιδιοτήτων (Properties) επιλέγεται προσθήκη fluid package και έχουμε την ακόλουθη ένδειξη:

Fluid Package	Component List	Property Package	Status
Basis-1	Component List - 1 [HYSYS Datab	SRK	Input Complete

Εικόνα 9 Επιλογή καταστατικής εξίσωσης στο HYSYS

5.2.5 Δημιουργία διαγράμματος ροής (Simulation Environment) για την μονάδα Kristin

Στο βήμα αυτό γίνεται προσθήκη των ρευμάτων και των στοιχείων μηχανολογικού εξοπλισμού (δοχεία εκτόνωσης, βαλβίδες, ψυκτήρες, θερμαντήρες, συμπιεστές). Σε βασικά ρεύματα και στοιχεία εξοπλισμού δίνονται ίδια ονόματα με αυτά του διαγράμματος ροής που μας δόθηκε. Εισάγονται επίσης οι συγκεντρώσεις, γραμμομοριακές ροές, θερμοκρασίες, πιέσεις όπου είναι απαραίτητο για να είναι επαρκή τα δεδομένα ώστε να ολοκληρωθεί η προσομοίωση.

Κάποια σύντομα χαρακτηριστικά του διαγράμματος ροής συγκεντρώνονται στους ακόλουθους πίνακες:

Μονάδες Διεργασιών	
Εναλλάκτες Θερμότητας (Ψυκτήρας/Θερμαντήρας)	9
Δοχεία Εκτόνωσης	8
Αντλίες	5
Βαλβίδες	5
Συμπιεστές	4
Αναμείκτες / Διαχωριστές	11
Μονάδες απομάκρυνσης συστατικών	1

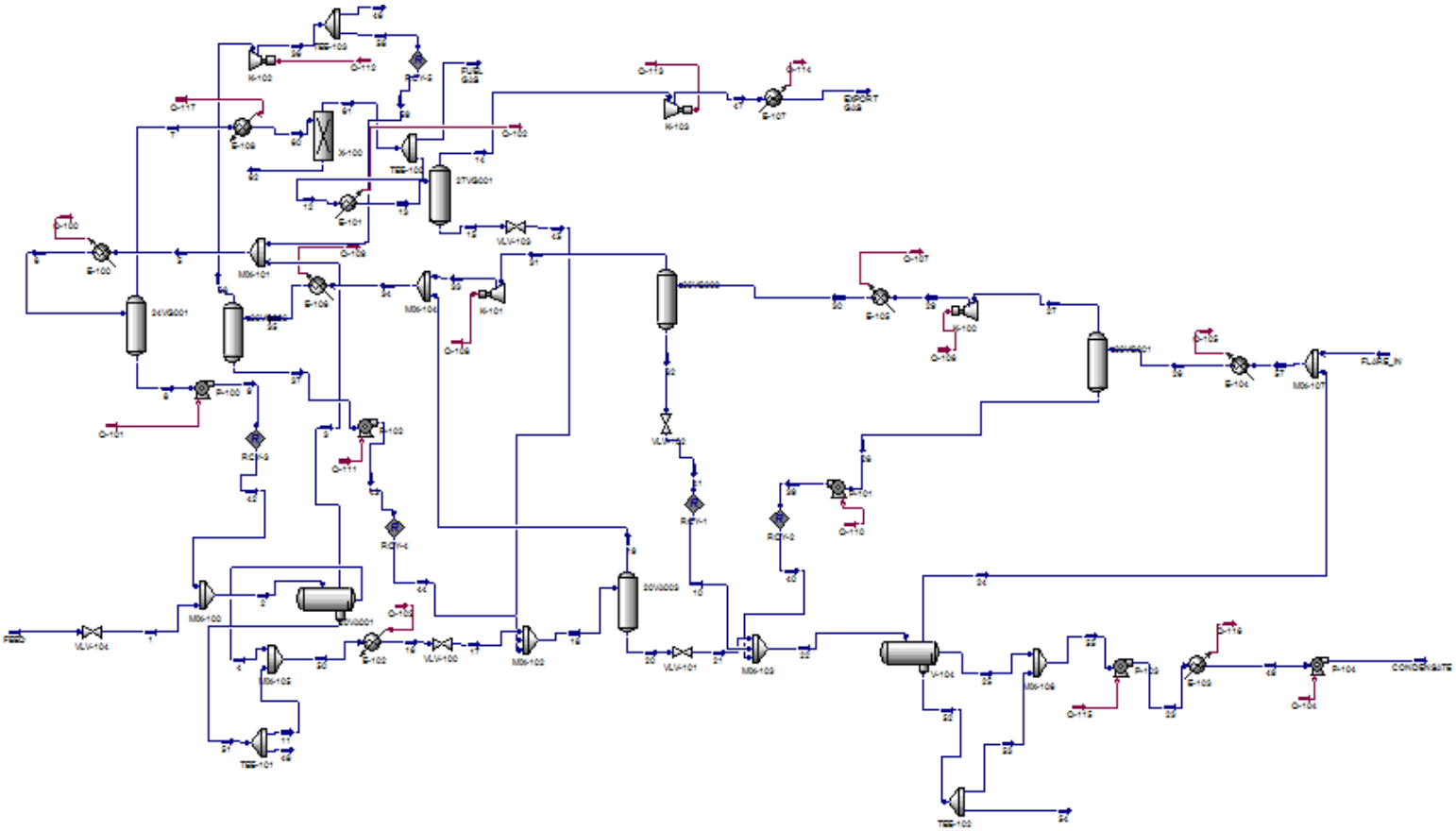
Πίνακας 6 Μονάδες διεργασιών στο διάγραμμα ροής του Kristin

Ροές	
Ρεύματα Μάζας	67
Ρεύματα Ενέργειας	18

Πίνακας 7 Μαζικές και ενεργειακές ροές στο διάγραμμα ροής του Kristin

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ολοκληρωμένο το διάγραμμα ροής της διεργασίας όπως σχεδιάστηκε από εμάς στο Aspen Hysys:

Εικόνα 10 Διάγραμμα ροής του Kristin στο Aspen HYSYS



Στην συνέχεια θα κάνουμε κάποιες παρατηρήσεις αναφορικά με την προσομοίωση. Αρχικά οι διεργασίες εκτόνωσης στα 20VA001 και V-104 όπως φαίνονται και στο διάγραμμα ροής είναι τριφασικές. Επειδή το νερό σε αυτές τις συνθήκες σχηματίζει δεύτερη υδατική φάση απομακρύνεται μία ποσότητα σταδιακά ώστε να καταλήξει να είναι το ρεύμα Condensate (συμπύκνωμα) σχεδόν άνυδρο. Επίσης για κάθε ρεύμα που οδηγείται προς ανακύκλωση χρησιμοποιείται το Recycle Block (διεργασία ανακύκλωσης) του Hysys για να επιτευχθεί σύγκλιση.

Στο επόμενο μέρος θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα με χρήση της καταστατικής SRK και σαν συστατικά τα ψευδοσυστατικά της προσομοίωσης της Statoil. Εν συνεχεία θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι χαρακτηρισμού των βαρύτερων συστατικών του μίγματος τροφοδοσίας που ακολουθήσαμε και τα αποτελέσματα που έδωσαν με χρήση των καταστατικών εξισώσεων SRK, PR και του μοντέλου UMR_new. Θα γίνει φυσικά και σύγκριση με τα αποτελέσματα της Statoil.

5.3 Αποτελέσματα σύγκρισης της προσομοίωσης της Statoil με την νέα προσομοίωση της μονάδας Kristin και την χρήση ψευδοσυστατικών

Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση που σχεδιάστηκε συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα με την SRK από την Statoil στο PRO/II. Η σύγκριση δεν θα περιοριστεί μόνο στα βασικά ρεύματα εξόδου της μονάδας (Export Gas (ελαφρύ ρεύμα πλούσιο σε μεθάνιο), Condensate (βαρύ συμπύκνωμα), Fuel Gas(μίγμα αιθανίου ,προπανίου ,βουτανίου)) αλλά και στα ρεύματα εμπλουτισμού του Export Gas και του Condensate. Πρόκειται για τα ρεύματα που προκύπτουν από τον επιπλέον διαχωρισμό και κλασματώνονται στα ελαφρύτερα που οδηγούνται για εμπλουτισμό του ελαφριού ρεύματος και στα βαρύτερα ρεύματα που καταλήγουν στο βαρύ συμπύκνωμα. Η σύγκριση θα γίνει με βάση τις ροές μάζας και τις συστάσεις των περιεχόμενων συστατικών στην αρχική φάση της πιστοποίησης της νέας προσομοίωσης σε σχέση με τα δεδομένα σχεδιασμού της Statoil. Ακόμα θα γίνει σύγκριση των προδιαγραφών λειτουργίας της μονάδας (πίεση σημείου Cricondenbar για το ελαφρύ ρεύμα εξόδου). Η πρόβλεψη αυτών των προδιαγραφών είναι εξέχουσας σημασίας λόγω του ότι όπως θα αναλυθεί η ακριβής πρόβλεψη της προδιαγραφής μεταφράζεται σε ελάφρυνση κόστους για την βιομηχανία.

Τα σφάλματα που υπολογίζονται στους πιο κάτω πίνακες εξάγονται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Sigma\varphi\acute{\alpha}\lambda\mu\alpha = \frac{T\iota\mu\acute{\eta}\ Statoil - T\iota\mu\acute{\eta}\ \pi\rho o\sigma o\mu o\acute{\iota}\omega\sigma\eta\varsigma\ (SRK/PR/UMR_new)}{T\iota\mu\acute{\eta}\ Statoil}$$

Το ρεύμα τροφοδοσίας τίθεται ίδιο σε όλες τις προσομοιώσεις (από πλευρά των συγκεντρώσεων) με το ρεύμα τροφοδοσίας από την προσομοίωση της Statoil στο PRO/II . Έτσι οι συγκεντρώσεις του ρεύματος τροφοδοσίας δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Συστατικά	Συγκεντρώσεις
H2O	0.256
N2	0.002
CO2	0.025
C1	0.523
C2	0.065
C3	0.031
IC4	0.006
NC4	0.011
IC5	0.004
NC5	0.004
GIC6	0.006
GIC7	0.011
GIC8	0.012
GIC9	0.008
GIC10-C14	0.018
GIC15-C24	0.013
GIC25+	0.004
H2S	0.000008

Πίνακας 8 Σύσταση ρεύματος τροφοδοσίας Kristin

5.3.1 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων του Kristin με βάση τις ροές μάζας (χρήση ψευδοσυστατικών)

Αρχικά θα πραγματοποιηθεί η σύγκριση των προσομοιώσεων με βάση τις ροές μάζας που προβλέπονται στα βασικά ρεύματα καθώς και τα ρεύματα εμπλουτισμού της διεργασίας.

Αρχικά παρουσιάζεται η σύγκριση τα βασικά ρεύματα εξόδου της διεργασίας (Fuel Gas, Export Gas και Condensate):

Βασικά Ρεύματα Διεργασίας				
Fuel Gas (Μίγμα Αιθανίου, Βουτανίου, Προπανίου)		STATOIL	SRK pseudo[2]	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	599.1152	599.1152	-
Export Gas (Ελαφρύ ρεύμα πλούσιο σε μεθάνιο)		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	32254.2273	32281.4345	-0.0844
Condensate (Βαρύ συμπύκνωμα)		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4210.9568	4179.4997	0.7470

Πίνακας 9 Σύγκριση ροών μάζας βασικών ρευμάτων της διεργασίας του Kristin (ψευδοσυστατικά)

Με βάση τα πιο πάνω αποτελέσματα παρατηρούμε σχεδόν ταύτιση της προσομοίωσής μας με αυτή της Statoil που αποτελεί και την βάση σύγκρισης. Το ρεύμα Fuel Gas δεν αποκλίνει καθώς

[2] *Σημείωση: Τα αποτελέσματα κάτω από τον τίτλο Statoil πάρθηκαν από τις προσομοιώσεις της εταιρείας για την μονάδα του Kristin ενώ αυτά με τον τίτλο SRK pseudo είναι αποτελέσματα της προσομοίωσης στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας με την χρήση του μοντέλου SRK καθώς και ψευδοσυστατικών*

αποτελεί η μαζική ροή σχεδιαστική παράμετρο κατά την δημιουργία της προσομοίωσης. Εν συνεχεία θα παρουσιαστούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα ρεύματα εμπλουτισμού:

Το Condensate Stream (Εμπλουτισμός Συμπυκνώματος)				
Ρεύμα 40		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	541.2541	546.995	1.060
Ρεύμα 10		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	612.0267	624.308	2.006
Ρεύμα 45		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	19.6875	23.160	17.640
Ρεύμα 44		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	782.330	771.066	-1.439

Πίνακας 10 Σύγκριση ροών μάζας ρευμάτων εμπλουτισμού συμπυκνώματος της διεργασίας του Kristin (ψευδοσυστατικά)

Τα αντίστοιχα ρεύματα εμπλουτισμού για το Export Gas παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Το Export Gas Stream (Εμπλουτισμός ελαφριού μίγματος πλούσιου σε μεθάνιο)				
Ρεύμα 3		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	31907.036	31478.785	-1.342
Ρεύμα 19		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	2314.645	2705.087	16.868
Ρεύμα 24		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	2135.762	2186.623	2.381

Πίνακας 11 Σύγκριση ροών μάζας ρευμάτων εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) της διεργασίας του Kristin (ψευδοσυστατικά)

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα παρατηρούμε πως η νέα προσομοίωση είναι πολύ κοντά στα σχεδιαστικά αποτελέσματα στα 3 βασικά ρεύματα της διεργασία του Kristin (ελαφρύ ρεύμα, βαρύ ρεύμα συμπυκνώματος και ρεύμα υγραερίων). Στα υπόλοιπα ρεύματα εμπλουτισμού που παρουσιάζονται οι προβλέψεις είναι αρκετά καλές και τα όποια σφάλματα δεν δημιουργούν πρόβλημα στο τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης.

5.3.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων του Kristin με βάση τις συστάσεις των ρευμάτων (χρήση ψευδοσυστατικών)

Εν συνεχεία παρουσιάζεται η σύγκριση στα βασικά ρεύματα εξόδου της διεργασίας (ελαφρύ ρεύμα, βαρύ ρεύμα συμπυκνώματος και ρεύμα υγραερίων):

Πρώτα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για το ρεύμα υγραερίων με χρήση SRK με ψευδοσυστατικά (SRK pseudo):

Ρεύμα Υγραερίων (Fuel Gas)		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Μοριακό Βάρος		21.1539	21.1949	-0.1940
Περιεκτικότητα ανά συστατικό				
H20		0.0000	0.0000	-
N2		0.0035	0.0035	0.1384
CO2		0.0376	0.0374	0.4890
C1		0.7888	0.7881	0.0848
C2		0.0969	0.0969	-0.0395
C3		0.0444	0.0447	-0.5356
IC4		0.0076	0.0077	-1.0165
NC4		0.0120	0.0121	-1.0045
IC5		0.0028	0.0028	0.8234
NC5		0.0026	0.0026	-0.7895
GIC6		0.0018	0.0018	-0.0499
GIC7		0.0012	0.0015	-19.7196
GIC8		0.0005	0.0007	-22.3078
GIC9		0.0001	0.0001	-15.9551
GIC10-C14		1.63E-05	1.53E-05	5.7423
GIC15-C24		6.48E-09	7.96E-09	-22.8691
GIC25+		8.99E-17	2.22E-15	-2374.2094
H2S		0	0	-

Πίνακας 12 Σύγκριση ρεύματος υγραερίων της μονάδας Kristin (ψευδοσυστατικά)

Στο ρεύμα υγραερίων παρατηρούμε πως η προσομοίωση που δημιουργήθηκε έχει αρκετά καλή πρόβλεψη συγκριτικά με την προσομοίωση της Statoil. Οι όποιες διαφορές παρατηρούνται είναι στο βαρύτερο κλάσμα το οποίο παράλληλα όμως έχει και μικρή σύσταση. Έτσι η συνολική πρόβλεψη του ρεύματος είναι πολύ καλή.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα ίδια αποτελέσματα για το ελαφρύ ρεύμα (πλούσιο σε μεθάνιο):

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	SRK pseudo	Απόκλιση%
Μοριακό Βάρος		21.1371	21.1730	-0.1698
Περιεκτικότητα ανά συστατικό				
H20		0	0	-
N2		0.0035	0.0035	0.1231
CO2		0.0376	0.0374	0.4862
C1		0.7891	0.7885	0.0728
C2		0.0969	0.0969	-0.0343
C3		0.0444	0.0446	-0.4958
IC4		0.0076	0.0077	-0.9324
NC4		0.0119	0.0120	-0.8816
IC5		0.0028	0.0028	1.0734
NC5		0.0026	0.0026	-0.4909

GIC6		0.0018	0.0018	0.5141
GIC7		0.0012	0.0014	-19.4087
GIC8		0.0005	0.0006	-21.8545
GIC9		0.0001	0.0001	-14.9098
GIC10-C14		9.6255E-06	8.6102E-06	10.5482
GIC15-C24		1.4433E-10	2.1810E-10	-51.1117
GIC25+		2.1386E-22	4.7295E-20	-22014
H2S		0	0	-

Πίνακας 13 Σύγκριση ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin (ψευδοσυστατικά)

Από τα αποτελέσματα για το ελαφρύ ρεύμα διαπιστώνουμε ότι και στο ρεύμα υγραερίων. Η προσομοίωση εκ νέου έχει πολύ καλή ταύτιση στα ελαφρύτερα συστατικά ενώ στα βαρύτερα υπάρχουν μεγαλύτερες αποκλίσεις. Βεβαίως αυτές οι μεγαλύτερες αποκλίσεις στα βαρύτερα συστατικά αφορούν απειροελάχιστες συγκεντρώσεις στο ρεύμα. Τέλος στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το ρεύμα του συμπυκνώματος και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Statoil.

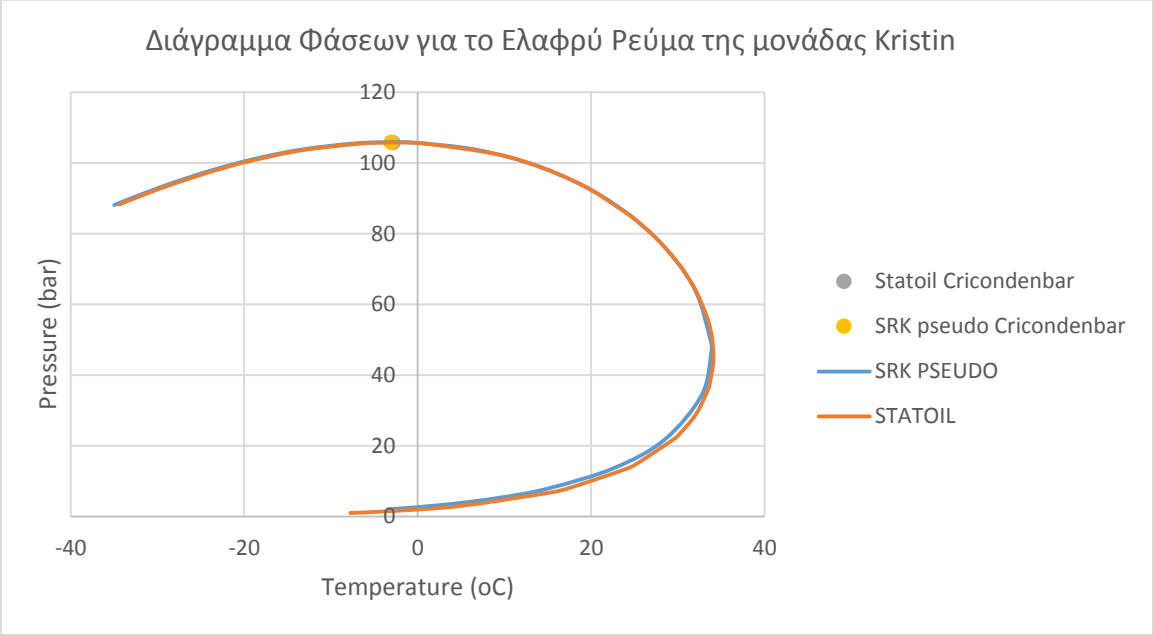
Ρεύμα συμπυκνώματος (Condensate)		STATOIL	SRK pseudo	Απόκλιση%
Μοριακό Βάρος		140.5777	141.1799	-0.4284
Περιεκτικότητα ανά συστατικό				
H20		0.0536	0.0528	1.5549
N2		2.1013E-07	4.4325E-07	-110.9445
CO2		0.0002	0.0003	-32.5843
C1		0.0009	0.0009	4.1504
C2		0.0032	0.0027	15.2849
C3		0.0159	0.0143	10.2154
IC4		0.0139	0.0134	3.3429
NC4		0.0375	0.0372	0.9782
IC5		0.0269	0.0274	-1.5200
NC5		0.0316	0.0316	-0.0454
GIC6		0.0621	0.0626	-0.8444
GIC7		0.1185	0.1175	0.8160
GIC8		0.1369	0.1371	-0.1014
GIC9		0.0901	0.0907	-0.6033
GIC10-C14		0.2143	0.2159	-0.7561
GIC15-C24		0.1514	0.1525	-0.7527
GIC25+		0.0429	0.0432	-0.7527
H2S		9.6703E-07	8.5682E-07	11.3973

Πίνακας 14 Σύγκριση του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin (ψευδοσυστατικά)

Εδώ παρατηρούμε εκ νέου πολύ καλή ταύτιση σε όλα σχεδόν τα συστατικά. Εξαίρεση αποτελούν το νερό, το άζωτο και το υδρόθειο. Η διαφορά αποδίδεται ίσως στους συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij} που δεν χρησιμοποιούνται οι ίδιοι, καθώς στην περίπτωσή μας χρησιμοποιούνται οι default συντελεστές του HYSYS ενώ στην περίπτωση της Statoil χρησιμοποιούνται οι συντελεστές του PRO/II.

5.3.3 Σύγκριση προδιαγραφών της μονάδας Kristin

Εν συνεχεία θα παρουσιαστούν οι συγκρίσεις που έγιναν στις προδιαγραφές της μονάδας για το σημείο Cricondenbar του ρεύματος Export Gas. Για να γίνει η σύγκριση παρουσιάζεται το διάγραμμα φάσεων του ρεύματος όπως αυτό προβλέπεται από τις 2 προσομοιώσεις:



Διάγραμμα 1 Διάγραμμα Φάσεων για το ελαφρύ ρεύμα της μονάδας Kristin (ψευδοσυστατικά)

Σε ότι αφορά το διάγραμμα φάσεων παρατηρούμε πολύ καλή ταύτιση όσο και στην προδιαγραφή του Cricondenbar. Οι διαφορές στα σημεία CCDB παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Προσομοίωση	Statoil	SRK with pseudo	Απόλυτη Διαφορά
CCDB Πίεση (bar)	105.79	105.90	0.11
CCDB Θερμοκρασία (°C)	-2.84	-3.07	0.23

Πίνακας 15 Αποτελέσματα προδιαγραφής Cricondenbar για την μονάδα Kristin (ψευδοσυστατικά)

Παρατηρούμε πολύ καλή πρόβλεψη του σημείου CCDB (πίεση και θερμοκρασία) με την νέα προσομοίωση που κατασκευάσαμε. Σημειώνεται ότι στην συνέχεια της εργασίας θα παρουσιαστούν οι προβλέψεις του σημείου Cricondenbar (με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς) και θα συγκριθούν με πειραματικά δεδομένα του σημείου και όχι μόνο με το αποτέλεσμα του προσομοιωτή.

Πιστοποιείται πλέον πως εξετάζοντας τις αποκλίσεις σε ροές μάζας, συγκεντρώσεις συστατικών και προδιαγραφές η νέα προσομοίωση περιγράφει επιτυχώς την μονάδα του Kristin. Αφού

λοιπόν επιβεβαιώθηκε η σωστή αποτύπωση της διεργασίας στο HYSYS μπορούμε πλέον να προχωρήσουμε στις προσομοιώσεις που έγιναν με SRK,PR και UMR_new και τον χαρακτηρισμό του βαριού κλάσματος φυσικού αερίου.

6 Προσομοίωση με SRK/PR/UMR_new της μονάδας Kristin και χαρακτηρισμός του βαριού κλάσματος

Αρχικά θα γίνει αναφορά στον τρόπο με τον οποίο έγινε η εισαγωγή του UMR_new στο Hysys για να χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς ενώ στην συνέχεια θα δοθεί ο τρόπος με τον οποίο έγινε ο χαρακτηρισμός του βαριού κλάσματος για την χρήση του στις προσομοιώσεις με SRK και Peng Robinson.

Το UMR_new είναι ένα μοντέλο πρόβλεψης το οποίο δεν έχει ενσωματωθεί στο Aspen Hysys. Παρόλα αυτά το λογισμικό δίνει την δυνατότητα να εισάγει κάποιος το δικό του μοντέλου (custom) και να το χρησιμοποιήσει στους υπολογισμούς του. Έτσι στο Εργαστήριο Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς αναπτύχθηκε το λεγόμενο Cape Open. Με την χρήση αυτού έγινε εφικτή η εισαγωγή του UMR_new στο Hysys. Στα πλαίσια αυτού του προγράμματος το Hysys αντί να υπολογίζει τις απαραίτητες θερμοδυναμικές ιδιότητες μέσα από κάποια καταστατική εξίσωση (fluid package) που είναι εγκατεστημένη, χρησιμοποιεί το UMR_new για να εκτιμήσει τις απαιτούμενες τιμές.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποια βήματα που είχαν γίνει για το σκοπό αυτό:

- Ανάπτυξη αναλυτικών εκφράσεων υπολογισμού θερμοδυναμικών ιδιοτήτων καθώς και των παραγώγων αυτών που απαιτούνται για την ενσωμάτωση του UMR_new στο Hysys.
- Εισαγωγή των εκφράσεων αυτών σε ένα DLL αρχείο καθώς και άλλων συναρτήσεων/υπορουτίνων που απαιτούνται στα πλαίσιο του Cape Open.
- Λόγω του πλαισίου του Cape Open δεν είναι εφικτή η χρήση της βάσης δεδομένων του Hysys για επιλογή συστατικών. Έτσι δημιουργήθηκε βάση δεδομένων με τις απαραίτητες πληροφορίες για το κάθε συστατικό (πχ CAS Number, Tc,Pc,Omega,Tb κ.α.) . Αυτά τα συστατικά στην συνέχεια χρησιμοποιούνται για την δημιουργία component list μέσα από εφαρμογή Macro στο Excel.
- Επειδή όμως τα πιο πάνω dll είχαν δημιουργηθεί για την προηγούμενη έκδοση του UMR, αυτά στα πλαίσια της διπλωματικής αναβαθμίστηκαν. Επίσης έγινε επέκταση της βάσης δεδομένων των συστατικών με περισσότερα συστατικά αλλά και την εισαγωγή νερού και υδροθείου που έλειπαν για να γίνει η προσομοίωση αυτή.

Δημιουργήθηκε λοιπόν ένα ολοκληρωμένο πακέτο για να γίνει εφικτή η προσομοίωση αυτή. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα στάδια που απαιτούνται για την δημιουργία του fluid package για την προσομοίωση του Kristin.

Η χρήση του είναι κάπως δύσκολη και αργή στην σύγκλιση των προσομοιώσεων. Γι αυτό το γεγονός δεν ευθύνεται η ενσωμάτωση της UMR από το εργαστήριο Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς αλλά το γενικότερο πλαίσιο που έχει δημιουργηθεί από το HYSYS και το Cape Open οδηγεί σε κάπως δύσκολες εφαρμογές.

Αρχικά επειδή όπως είδαμε και πρίν το UMR δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς πραγματικά συστατικά (real compounds) ήταν απαραίτητο να γίνει χαρακτηρισμός. Τα αποτελέσματα με τα compounds που θα επιλεγούν παρακάτω θα χρησιμοποιηθούν και με τις προσομοιώσεις με SRK και Peng Robinson.

Έγιναν 3 διαφορετικοί χαρακτηρισμοί. Ο πρώτος βασίστηκε στο να βρεθεί το συστατικό με το πιο κοντινό κανονικό σημείο βρασμού (Tb) σε σχέση με αυτά που δίνονται στα ψευδοσυστατικά από την Statoil,ενώ στην δεύτερη περίπτωση ο χαρακτηρισμός έγινε με την χρήση κανονικών αλκανίων στην θέση των ψευδοσυστατικών. Στην τρίτη περίπτωση βασιστήκαμε στην ιδιότητα του μοριακού βάρους. Έτσι αναζητήσαμε τα συστατικά με τα πιο κοντινά μοριακά βάρη σε σχέση με αυτά που είχαν υπολογιστεί για τα ψευδοσυστατικά.Για την πρώτη περίπτωση και την τρίτη έγινε χρήση της database του εργαστηρίου και δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα σε περιβάλλον Macro στο Excel όπου εισάγεται η θερμοκρασία βρασμού του ψευδοσυστατικού (ή το μοριακό βάρος) και εκτυπώνονται τα 8 επικρατέστερα συστατικά που έχουν δηλαδή το πιο κοντινό σημείο βρασμού (ή πιο κοντινό μοριακό βάρος).Το περιβάλλον του προγράμματος και η χρήση του θα αναλυθούν στο σχετικό παράρτημα για τη μονάδα Kristin.

Με βάση αυτόν τον χαρακτηρισμό η Component List είναι:

Λίστα συστατικών της Statoil	Πρώτη μέθοδος χαρακτηρισμού (Βασίζεται στο κανονικό σημείο βρασμού)	Απόλυτη Διαφορά κανονικών σημείων βρασμού
GIC6	nC6	0.02
GIC7	3MC6	0.1
GIC8	2MC7	0.9
GIC9	4MC8	0.19
GIC10-C14	nC11	8.08
GIC15-C24	nC18	1.04
GIC25+	nC32	14.29

Πίνακας 16 Αποτελέσματα πρώτου χαρακτηρισμού (με βάση το κανονικό σημείο βρασμού)

Το αποτέλεσμα του χαρακτηρισμού με βάση τα κανονικά αλκάνια είναι το ακόλουθο:

Λίστα συστατικών της Statoil	Δεύτερη μέθοδος χαρακτηρισμού (Αντικατάσταση με κανονικά αλκάνια)	Απόλυτη Διαφορά κανονικών σημείων βρασμού
GIC6	nC6	0.02
GIC7	nC7	6.48
GIC8	nC8	8.93
GIC9	nC9	8.57
GIC10-C14	nC11	8.08
GIC15-C24	nC18	1.04
GIC25+	nc30	28.14

Πίνακας 17 Αποτελέσματα δεύτερου χαρακτηρισμού (με βάση την αντιστοίχιση κανονικών αλκανίων σε ψευδοσυστατικά)

Για την τρίτη περίπτωση έγινε χρήση του προγράμματος που αναφέρθηκε και στην περίπτωση του χαρακτηρισμού με βάση το σημείο βρασμού. Τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

Λίστα συστατικών της Statoil	Τρίτη μέθοδος χαρακτηρισμού (Βασίζεται στο μοριακό βάρος)	Απόλυτη Διαφορά μοριακών βαρών
GIC6	22DMC4	0.674
GIC7	Toluene	1.078
GIC8	Ebenzene	2.56
GIC9	224TMC5	2.966
GIC10-C14	nC11	1.274
GIC15-C24	nC18	4.517
GIC25+	nC32	7.886

Πίνακας 18 Αποτελέσματα τρίτου χαρακτηρισμού (με βάση το μοριακό βάρος των συστατικών)

Οι λίστες των συστατικών με τους 3 χαρακτηρισμούς για τις καταστατικές εξισώσεις SRK και Peng Robinson παρουσιάζονται παρακάτω (όπως δηλώνονται στο HYSYS):

Component	Type	Group
H2O	Pure Component	
Nitrogen	Pure Component	
CO2	Pure Component	
Methane	Pure Component	
Ethane	Pure Component	
Propane	Pure Component	
i-Butane	Pure Component	
n-Butane	Pure Component	
i-Pentane	Pure Component	
n-Pentane	Pure Component	
n-Hexane	Pure Component	
n-Heptane	Pure Component	
n-Octane	Pure Component	
n-Nonane	Pure Component	
n-C11	Pure Component	
n-C18	Pure Component	
n-C30	Pure Component	
H2S	Pure Component	

Component	Type	Group
H2O	Pure Component	
Nitrogen	Pure Component	
CO2	Pure Component	
Methane	Pure Component	
Ethane	Pure Component	
Propane	Pure Component	
i-Butane	Pure Component	
n-Butane	Pure Component	
i-Pentane	Pure Component	
n-Pentane	Pure Component	
n-Hexane	Pure Component	
3-Mhexane	Pure Component	
2-Mheptane	Pure Component	
4-Moctane	Pure Component	
n-C11	Pure Component	
n-C18	Pure Component	
n-DotriC32	Pure Component	
H2S	Pure Component	

Component	Type	Group
H2O	Pure Component	
Nitrogen	Pure Component	
CO2	Pure Component	
Methane	Pure Component	
Ethane	Pure Component	
Propane	Pure Component	
i-Butane	Pure Component	
n-Butane	Pure Component	
i-Pentane	Pure Component	
n-Pentane	Pure Component	
22-Mbutane	Pure Component	
Toluene	Pure Component	
E-Benzene	Pure Component	
224-Mpentane	Pure Component	
n-C11	Pure Component	
n-C18	Pure Component	
n-DotriC32	Pure Component	
H2S	Pure Component	

Εικόνα 11 Δήλωση λίστας συστατικών στο HYSYS (και με τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού)

Για την δήλωση των συστατικών που χρησιμοποιήσαμε με το μοντέλο UMR_new ακολουθήθηκε μια διαφορετική διαδικασία που θα αναλυθεί παρακάτω: Αυτό γίνεται όπως είπαμε σε περιβάλλον Excel. Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζεται το περιβάλλον δημιουργίας των πακέτων συστατικών που επιθυμούμε να εισαχθούν στο Hysys (παρουσιάζονται τα 3 πακέτα που δημιουργήθηκαν, ένα για τον κάθε χαρακτηρισμό):

Fluid Package No:	6
Fluid Package File Name:	kristinfull
Fluid Package Short Name:	kristinfull
Fluid Package Description:	kristin
Fluid Package Number of Components:	18
Select Compounds:	
H20	
N2	
CO2	
CH4	
C2H6	
nC3	
iC4	
nC4	
iC5	
nC5	
nC6	
3MC6	
2MC7	
4MC8	
nC11	
nC18	
nC32	
H2S	

Save

Cancel

Fluid Package No:	7
Fluid Package File Name:	kristinh2o
Fluid Package Short Name:	kristinh2o
Fluid Package Description:	kristinh2o
Fluid Package Number of Components:	18
Select Compounds:	
H20	
N2	
CO2	
CH4	
C2H6	
nC3	
iC4	
nC4	
iC5	
nC5	
nC6	
nC7	
nC8	
nC9	
nC11	
nC18	
nc30	
H2S	

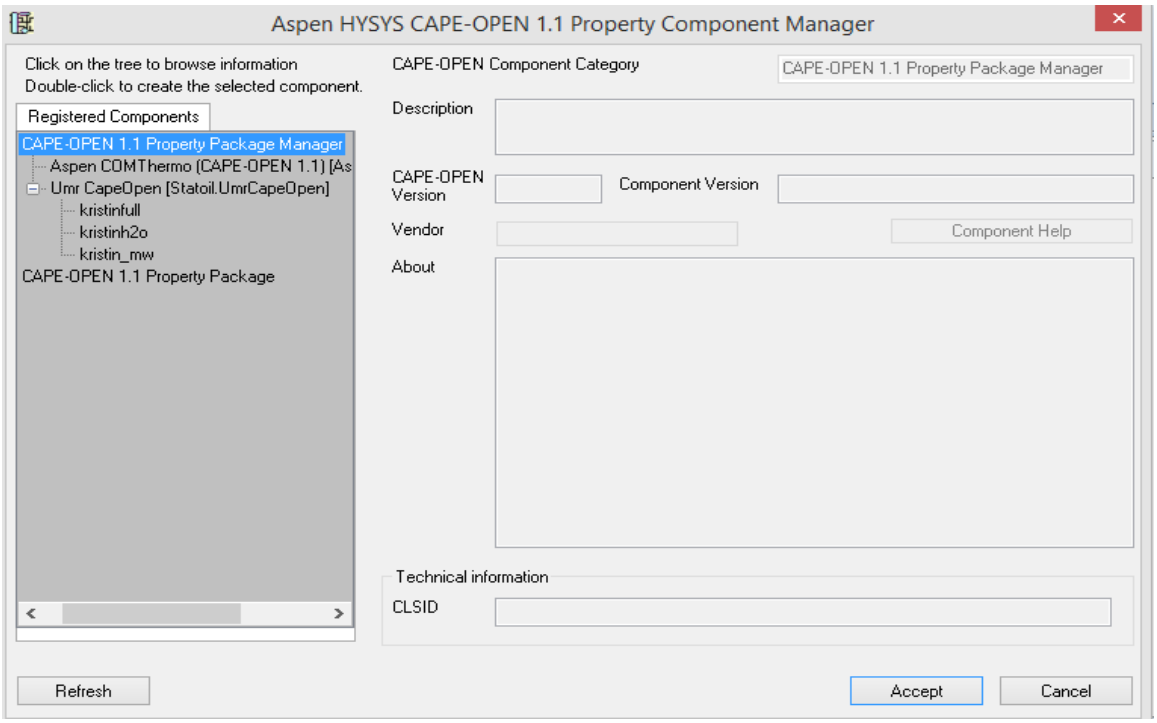
Save

Cancel

Fluid Package No:	8
Fluid Package File Name:	kristin_mw
Fluid Package Short Name:	kristin_mw
Fluid Package Description:	kristin_m2
Fluid Package Number of Components:	18
Select Compounds:	
H20	
N2	
CO2	
CH4	
C2H6	
nC3	
iC4	
nC4	
iC5	
nC5	
22DMC4	
toluene	
Ebenzene	
224TMC5	
nC11	
nC18	
nC32	
H2S	

Εικόνα 12 Δήλωση συστατικών για την δημιουργία λίστας για τις προσομοιώσεις της μονάδας Kristin με το UMR_new

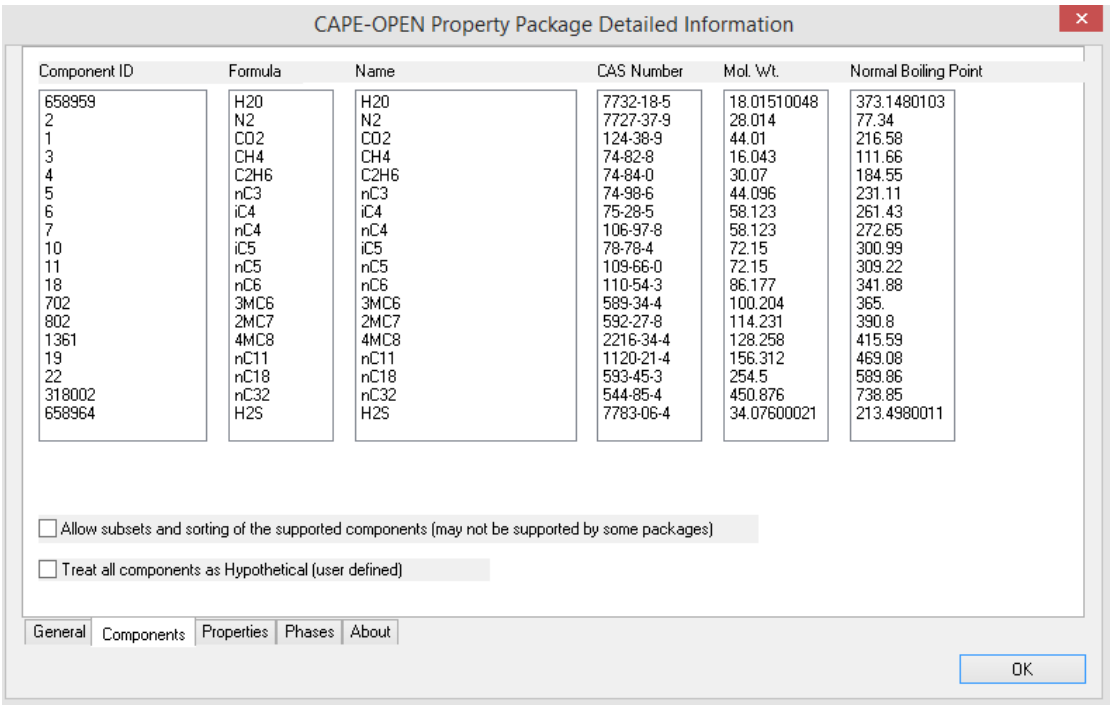
Αφού δημιουργηθούν αυτά ανοίγουμε ένα νέο αρχείο Hysys όπου δεν επιλέγουμε τις γνωστές καταστατικές εξισώσεις (όπως στην περίπτωση των SRK και PR) αλλά τα COM THERMO. Εμφανίζεται η ακόλουθη οθόνη στην συνέχεια:



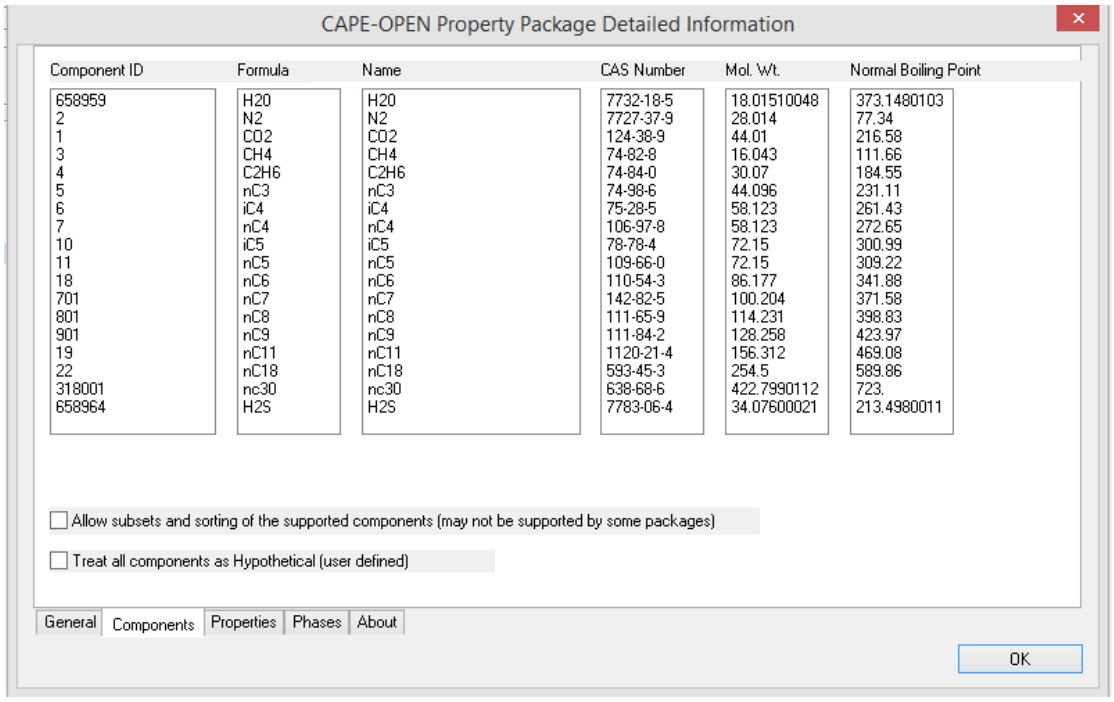
Εικόνα 13 Μενού επιλογής των συστατικών για την περίπτωση της εφαρμογής του Cape Open

Εδώ επιλέγουμε για τον πρώτο χαρακτηρισμό το πρώτο (kristinfull), για τον δεύτερο την δεύτερη διαθέσιμη επιλογή (kristinh2o) ενώ για τον τρίτο χαρακτηρισμό το Kristin_mw.

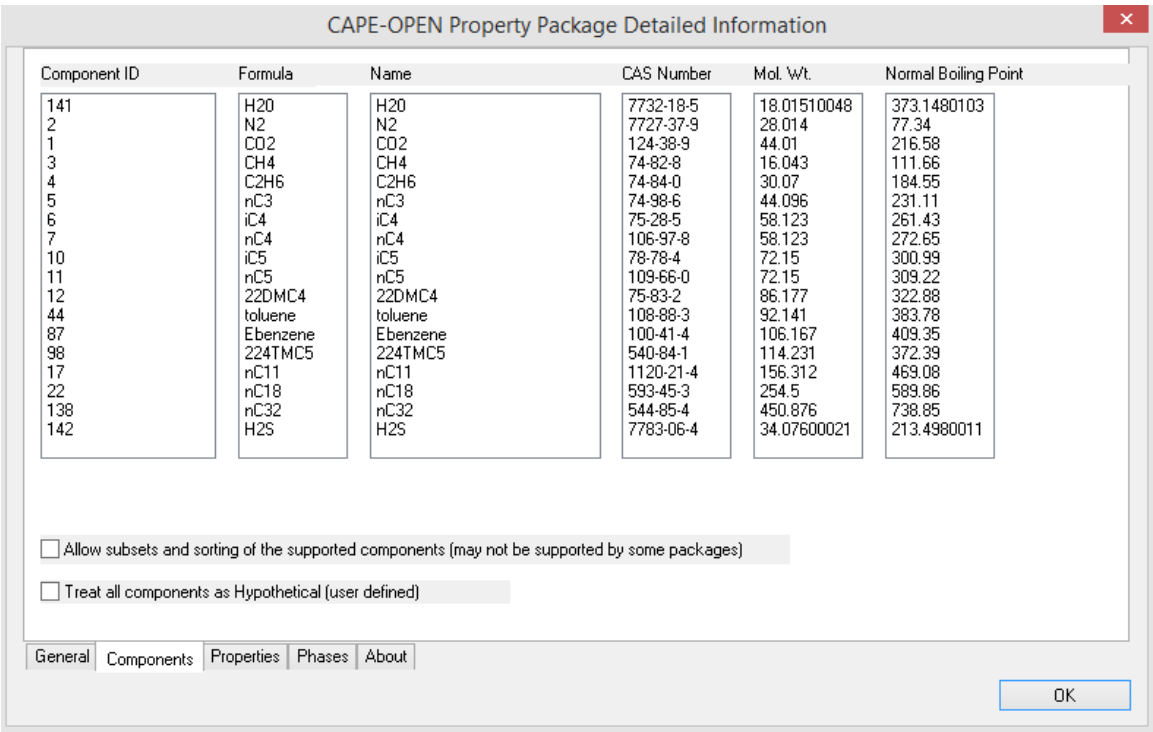
Σαν επιβεβαίωση ότι έχουν εισαχθεί όλα σωστά σε ότι αφορά τα συστατικά παρουσιάζονται τα ακόλουθα:



Component ID	Formula	Name	CAS Number	Mol. Wt.	Normal Boiling Point
658959	H20	H20	7732-18-5	18.01510048	373.1480103
2	N2	N2	7727-37-9	28.014	77.34
1	CO2	CO2	124-38-9	44.01	216.58
3	CH4	CH4	74-82-8	16.043	111.66
4	C2H6	C2H6	74-84-0	30.07	184.55
5	nC3	nC3	74-98-6	44.096	231.11
6	iC4	iC4	75-28-5	58.123	261.43
7	nC4	nC4	106-97-8	58.123	272.65
10	iC5	iC5	78-78-4	72.15	300.99
11	nC5	nC5	109-66-0	72.15	309.22
18	nC6	nC6	110-54-3	86.177	341.88
702	3MC6	3MC6	589-34-4	100.204	365.
802	2MC7	2MC7	592-27-8	114.231	390.8
1361	4MC8	4MC8	2216-34-4	128.258	415.59
19	nC11	nC11	1120-21-4	156.312	469.08
22	nC18	nC18	593-45-3	254.5	589.86
318002	nC32	nC32	544-85-4	450.876	738.85
658964	H2S	H2S	7783-06-4	34.07600021	213.4980011



Component ID	Formula	Name	CAS Number	Mol. Wt.	Normal Boiling Point
658959	H20	H20	7732-18-5	18.01510048	373.1480103
2	N2	N2	7727-37-9	28.014	77.34
1	CO2	CO2	124-38-9	44.01	216.58
3	CH4	CH4	74-82-8	16.043	111.66
4	C2H6	C2H6	74-84-0	30.07	184.55
5	nC3	nC3	74-98-6	44.096	231.11
6	iC4	iC4	75-28-5	58.123	261.43
7	nC4	nC4	106-97-8	58.123	272.65
10	iC5	iC5	78-78-4	72.15	300.99
11	nC5	nC5	109-66-0	72.15	309.22
18	nC6	nC6	110-54-3	86.177	341.88
701	nC7	nC7	142-82-5	100.204	371.58
801	nC8	nC8	111-65-9	114.231	398.83
901	nC9	nC9	111-84-2	128.258	423.97
19	nC11	nC11	1120-21-4	156.312	469.08
22	nC18	nC18	593-45-3	254.5	589.86
318001	nc30	nc30	638-68-6	422.7990112	723.
658964	H2S	H2S	7783-06-4	34.07600021	213.4980011



CAPE-OPEN Property Package Detailed Information

Component ID	Formula	Name	CAS Number	Mol. Wt.	Normal Boiling Point
141	H20	H20	7732-18-5	18.01510048	373.1480103
2	N2	N2	7727-37-9	28.014	77.34
1	CO2	CO2	124-38-9	44.01	216.58
3	CH4	CH4	74-82-8	16.043	111.66
4	C2H6	C2H6	74-84-0	30.07	184.55
5	nC3	nC3	74-98-6	44.096	231.11
6	iC4	iC4	75-28-5	58.123	261.43
7	nC4	nC4	106-97-8	58.123	272.65
10	iC5	iC5	78-78-4	72.15	300.99
11	nC5	nC5	109-66-0	72.15	309.22
12	22DMC4	22DMC4	75-83-2	86.177	322.88
44	toluene	toluene	108-88-3	92.141	383.78
87	Ebenzene	Ebenzene	100-41-4	106.167	409.35
98	224TMC5	224TMC5	540-84-1	114.231	372.39
17	nC11	nC11	1120-21-4	156.312	469.08
22	nC18	nC18	593-45-3	254.5	589.86
138	nC32	nC32	544-85-4	450.876	738.85
142	H2S	H2S	7783-06-4	34.07600021	213.4980011

Allow subsets and sorting of the supported components (may not be supported by some packages)

Treat all components as Hypothetical (user defined)

General | Components | Properties | Phases | About

OK

Εικόνα 14 Μενού επιβεβαίωσης σωστής εισαγωγής των συστατικών στο HYSYS για κάθε μέθοδο χαρακτηρισμού

6.1 Αποτελέσματα και σύγκριση των προσομοιώσεων για την μονάδα Kristin με τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού

Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση που σχεδιάστηκε συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα με την SRK από την Statoil στο PRO/II. Τα μοντέλα πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η SRK καθώς και η Peng Robinson καθώς και το UMR_new. Η σύγκριση δεν θα περιοριστεί μόνο στα βασικά ρεύματα εξόδου της μονάδας (ελαφρύ ρεύμα, συμπύκνωμα, υγραέρια) αλλά και στα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος και του συμπυκνώματος. Πρόκειται για τα ρεύματα που προκύπτουν από τον επιπλέον διαχωρισμό και κλασματώνονται στα ελαφρύτερα που οδηγούνται για εμπλουτισμό του ελαφριού ρεύματος σε μεθάνιο και στα βαρύτερα ρεύματα που καταλήγουν στα συμπυκνώματα για αύξηση της καθαρότητας σε βαρύτερα συστατικά. Η σύγκριση θα γίνει με βάση τις ροές μάζας και τις συστάσεις των περιεχόμενων συστατικών στην αρχική φάση της πιστοποίησης της νέας προσομοίωσης σε σχέση με τα δεδομένα σχεδιασμού της Statoil. Ακόμα θα γίνει σύγκριση των προδιαγραφών λειτουργίας της μονάδας (πίεση σημείου Cricondenbar για το ελαφρύ ρεύμα). Η πρόβλεψη αυτών των προδιαγραφών είναι εξέχουσας σημασίας λόγω του ότι όπως θα αναλυθεί η ακριβής πρόβλεψη της προδιαγραφής μεταφράζεται σε ελάφρυνση κόστους για την βιομηχανία.

Τα σφάλματα που υπολογίζονται στους πιο κάτω πίνακες εξάγονται από την ακόλουθη σχέση και πάλι:

$$\Sigma\varphi\acute{\alpha}\lambda\mu\alpha = \frac{T\iota\mu\acute{\eta}\ Statoil - T\iota\mu\acute{\eta}\ \pi\rho o\sigma o\mu o\acute{\iota}\omega\sigma\eta\varsigma\ (SRK/PR/UMR_new)}{T\iota\mu\acute{\eta}\ Statoil}$$

6.1.1 Σύγκριση με βάση τις ροές μάζας των προσομοιώσεων για την μονάδα Kristin με τις τρείς μεθόδους χαρακτηρισμού

Αρχικά θα πραγματοποιηθεί η σύγκριση των προσομοιώσεων με βάση τις ροές μάζας που προβλέπονται στα βασικά ρεύματα καθώς και τα ρεύματα εμπλουτισμού της διεργασίας.

Πρώτα παρουσιάζεται η σύγκριση στα βασικά ρεύματα εξόδου της διεργασίας (υγραέρια, ελαφρύ ρεύμα και συμπυκνώματα) με την SRK (με default επιλογή για kij) και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (SRK1)				
Υγραέρια (Fuel Gas)		STATOIL	SRK1[3]	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	599.1152	599.1152	-
Ελαφρύ ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	SRK1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	32254.2273	32253.0606	0.0036
Συμπύκνωμα (Condensate)		STATOIL	SRK1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4210.9568	4185.1007	0.6140
Μέση Απόκλιση %	0.3088			

Πίνακας 19 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με SRK και την πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού

Ακολουθούν τα ίδια αποτελέσματα με SRK και την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (SRK2)				
Υγραέρια (Fuel Gas)		STATOIL	SRK2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	599.1152	599.1152	-
Ελαφρύ ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	SRK2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	32254.2273	32258.5014	-0.0133
Συμπύκνωμα (Condensate)		STATOIL	SRK2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4210.9568	4189.1415	0.5181
Μέση Απόκλιση %	0.2657			

Πίνακας 20 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με SRK και την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού

Τέλος ακολουθούν τα αποτελέσματα με SRK και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (SRK3)				
Υγραέρια (Fuel Gas)		STATOIL	SRK3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	599.1152	599.1152	-
Ελαφρύ ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	SRK3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	32254.2273	32287.2013	-0.1022
Συμπύκνωμα (Condensate)		STATOIL	SRK3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4210.9568	4166.7512	1.0498
Μέση Απόκλιση %	0.5760			

Πίνακας 21 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με SRK και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού

[3] *Σημείωση: Τα αποτελέσματα κάτω από τον τίτλο Statoil έχουν παρθεί από τις προσομοιώσεις της εταιρείας ενώ οι αριθμοί δίπλα από τα μοντέλα (SRK,PR,UMR_new) υποδηλώνουν την μέθοδο χαρακτηρισμό*

Στην συνέχεια θα ακολουθήσουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με Peng Robinson και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Αρχικά ακολουθούν τα αποτελέσματα με την πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (PR1)				
Υγραέρια (Fuel Gas)		STATOIL	PR1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	599.1152	599.1152	-
Ελαφρύ ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	PR1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	32254.2273	32347.7126	-0.2898
Συμπύκνωμα (Condensate)		STATOIL	PR1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4210.9568	4175.1710	0.8498
Μέση Απόκλιση %	0.2800			

Πίνακας 22 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με PR και την πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με Peng Robinson (με χρήση default kij του Hysys) και την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (PR2)				
Υγραέρια (Fuel Gas)		STATOIL	PR2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	599.1152	599.1152	-
Ελαφρύ ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	PR2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	32254.2273	32297.0217	-0.1327
Συμπύκνωμα (Condensate)		STATOIL	PR2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4210.9568	4150.8822	1.4266
Μέση Απόκλιση %	0.5698			

Πίνακας 23 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με PR και την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού

Τέλος ακολουθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με την χρήση της τρίτης μεθόδου χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (PR3)				
Υγραέρια (Fuel Gas)		STATOIL	PR3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	599.1152	599.1152	-
Ελαφρύ ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	PR3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	32254.2273	32328.3207	-0.2297
Συμπύκνωμα (Condensate)		STATOIL	PR3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4210.9568	4130.0562	1.9212
Μέση Απόκλιση %	1.0754			

Πίνακας 24 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με PR και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού

Τέλος ακολουθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με UMR_new και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (UMR1)				
Υγραέρια (Fuel Gas)		STATOIL	UMR1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	599.1152	599.1152	-
Ελαφρύ ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	UMR1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	32254.2273	32233.8182	0.0633
Συμπύκνωμα (Condensate)		STATOIL	UMR1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4210.9568	4187.5971	0.5547
Μέση Απόκλιση %	0.3090			

Πίνακας 25 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με UMR_new και την πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού

Ακολουθούν τα αποτελέσματα με την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού και την χρήση του μοντέλου UMR_new:

Μαζικές Ροές (UMR2)				
Υγραέρια (Fuel Gas)		STATOIL	UMR2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	599.1152	599.1152	-
Ελαφρύ ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	UMR2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	32254.2273	32225.9326	0.0877
Συμπύκνωμα (Condensate)		STATOIL	UMR2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4210.9568	4186.2804	0.5860
Μέση Απόκλιση %	0.3368			

Πίνακας 26 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με UMR_new και την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού

Τέλος ακολουθούν τα αποτελέσματα με UMR_new και την χρήση του 3^{ου} χαρακτηρισμού:

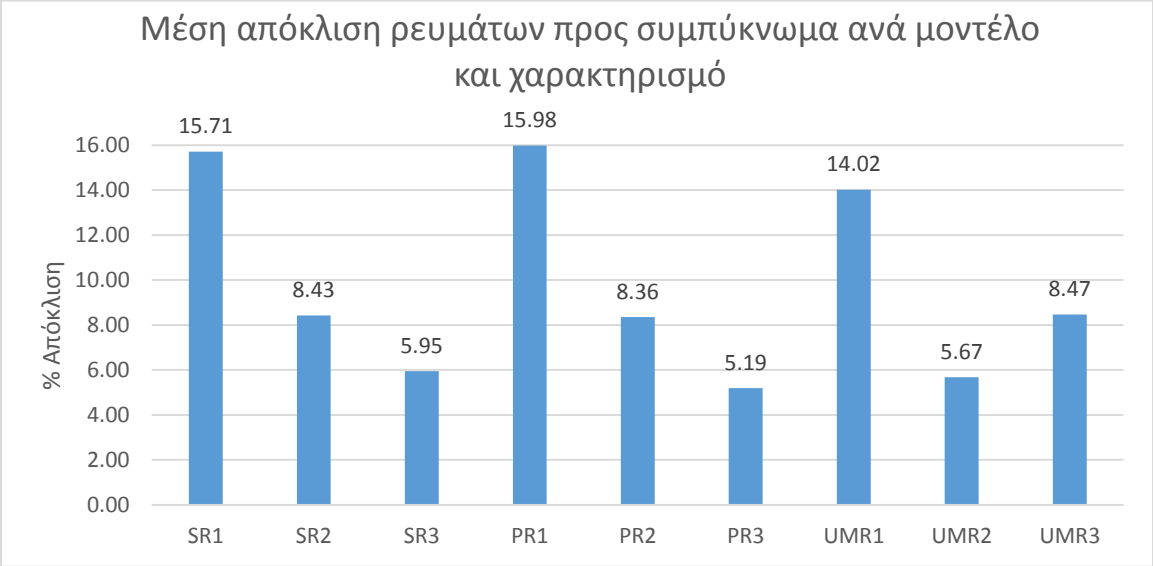
Μαζικές Ροές (UMR3)				
Υγραέρια (Fuel Gas)		STATOIL	UMR3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	599.1152	599.1152	-
Ελαφρύ ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	UMR3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	32254.2273	32321.5417	-0.2087
Συμπύκνωμα (Condensate)		STATOIL	UMR3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4210.9568	4116.2817	2.2483
Μέση Απόκλιση %	1.2285			

Πίνακας 27 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με UMR_new και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού

Βλέποντας τα πιο πάνω αποτελέσματα παρατηρούμε πως τα καλύτερα αποτελέσματα και πιο κοντινά σε αυτά της Statoil επιτυγχάνονται με την προσομοίωση της SRK με την χρήση του δεύτερου χαρακτηρισμού, ενώ ακολουθούν από κοντά με πολύ μικρές διαφορές οι προσομοιώσεις με Peng Robinson και UMR_new με την χρήση του πρώτου χαρακτηρισμού.

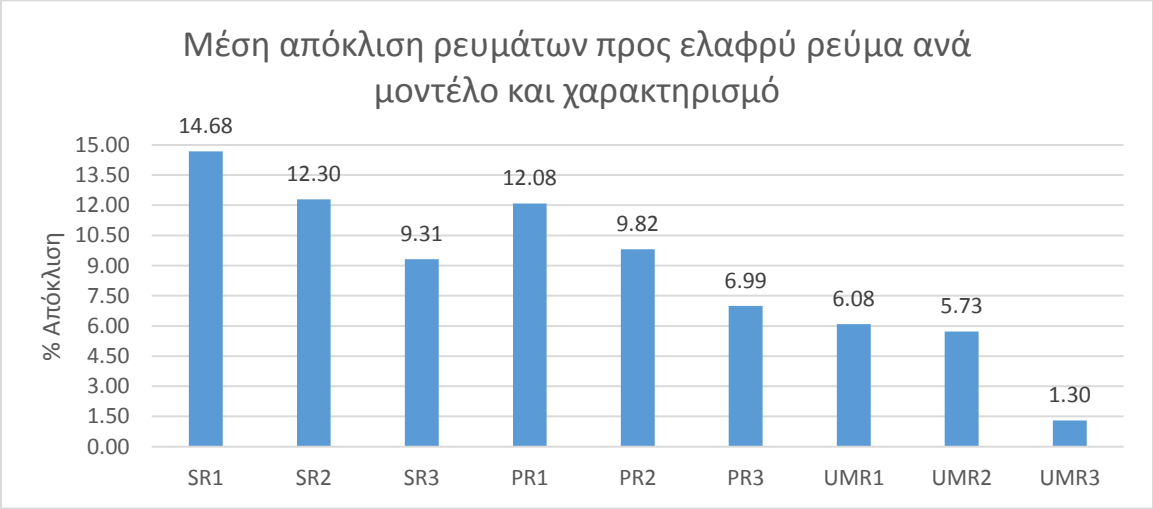
Ακολούθως θα παρουσιαστεί η μέση απόκλιση στα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος και του βαριού συμπυκνώματος σε ότι αφορά την μαζική ροή. Οι πίνακες για τα αναλυτικά αποτελέσματα για κάθε ρεύμα θα βρίσκονται στο παράρτημα.

Αρχικά θα δειχθεί το διάγραμμα σφαλμάτων για τα ρεύματα που καταλήγουν σε εμπλουτισμό του συμπυκνώματος (Condensate):



Διάγραμμα 2 Μέση απόκλιση ρευμάτων προς εμπλουτισμό συμπυκνώματος ανά μοντέλο και χαρακτηρισμό

Ακολουθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα ρεύματα που οδηγούνται σε Export Gas.



Διάγραμμα 3 Μέση απόκλιση ρευμάτων προς εμπλουτισμό ελαφριού ρεύματος (Export Gas) ανά μοντέλο και χαρακτηρισμό

Στο πρώτο διάγραμμα υπάρχει σχετική ισορροπία και παρόμοιες αποκλίσεις στις προσομοιώσεις με Peng Robinson και SRK με την χρήση του τρίτου χαρακτηρισμού ενώ παρόμοια καλά αποτελέσματα δίνει το UMR_new με την χρήση του δεύτερου χαρακτηρισμού.

Στην περίπτωση των ρευμάτων εμπλουτισμού του συμπυκνώματος υπάρχει ξεκάθαρα καλύτερη προσομοίωση αυτή με UMR_new και χαρακτηρισμό που βασίζεται στο μοριακό βάρος των ενώσεων (τρίτος χαρακτηρισμός).

6.1.2 Σύγκριση με βάση τις συστάσεις των ρευμάτων των προσομοιώσεων για την μονάδα Kristin με τις τρείς μεθόδους χαρακτηρισμού

Εν συνεχεία θα πραγματοποιηθεί μία σύγκριση στα ίδια ρεύματα σε ότι αφορά τις συστάσεις τους. Ως προσομοίωση βάσης θα χρησιμοποιηθεί εκ νέου αυτή της Statoil.Αρχικά παρουσιάζεται η σύγκριση τα βασικά ρεύματα εξόδου της διεργασίας (υγραέρια, ελαφρύ ρεύμα και συμπύκνωμα).

Στα ψευδοσυστατικά της προηγούμενης περίπτωσης αντιστοιχίζονται τα συστατικά που προέκυψαν με την προαναφερθείσα διαδικασία των τριών μεθόδων χαρακτηρισμού. Έτσι το πρώτο συστατικό αντιστοιχεί στο συστατικό που προέκυψε με την μέθοδο χαρακτηρισμού που βασίζεται στο κανονικό σημείο βρασμού, το δεύτερο με αυτήν που βασίστηκε στα αντίστοιχα κανονικά αλκάνια ενώ το τρίτο συστατικό με την μέθοδο που βασίστηκε στο μοριακό βάρος.

Εν συνεχεία θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα με SRK και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού για το ρεύμα των υγραερίων:

Ρεύμα Υγραερίων (Fuel Gas)	STATOIL	SRK1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	21.1539	21.2031	-0.2328	21.1838	-0.1413	21.2424	-0.4184
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	-
N2	0.0035	0.0035	-0.0254	0.0035	-0.0254	0.0035	0.0587
CO2	0.0376	0.0374	0.4743	0.0374	0.4580	0.0374	0.5657
C1	0.7888	0.7884	0.0532	0.7884	0.0506	0.7877	0.1375
C2	0.0969	0.0969	-0.0096	0.0969	-0.0323	0.0968	0.0331
C3	0.0444	0.0447	-0.5242	0.0447	-0.5297	0.0447	-0.5581
IC4	0.0076	0.0077	-0.8933	0.0077	-1.7238	0.0077	-1.2008
NC4	0.0120	0.0121	-1.1480	0.0122	-2.2122	0.0121	-1.3340
IC5	0.0028	0.0028	3.0568	0.0028	1.0129	0.0028	1.2253
NC5	0.0026	0.0025	1.5785	0.0026	-0.7273	0.0026	-0.4088
nC6/nC6/22MC4[4]	0.0018	0.0018	3.9733	0.0018	0.1095	0.0026	-39.2864
3MC6/nC7/Toluene	0.0012	0.0015	-19.1732	0.0012	-0.2840	0.0008	33.3331
2MC7/nC8/E-Benzene	0.0005	0.0006	-16.2251	0.0005	11.5281	0.0003	44.2770
4MC8/nC9/224-MC5	0.0001	0.0001	-14.2316	0.0001	21.8004	0.0009	-624.9336
nC11/ nC11/ nC11	1.63E-05	2.16E-05	-32.9280	2.30E-05	-41.4987	2.14E-05	-31.4188
nC18/ nC18/ nC18	6.48E-09	1.02E-08	-57.0722	1.09E-08	-67.4903	1.18E-08	-81.6570
nC32/nC30/nC32	8.99E-17	2.31E-15	-2472.1389	1.55E-15	-1626.0092	3.53E-15	-3831.2460
H2S	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	-

Πίνακας 28 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ρεύματος υγραερίων της μονάδας Kristin με χρήση SRK και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού

[4] *Σημείωση: Με κάθετες γραμμές (/) διαχωρίζονται τα συστατικά με την σειρά του χαρακτηρισμού.*

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα για το ρεύμα υγραερίων με Peng Robinson και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Ρεύμα Υγραερίων (Fuel Gas)	STATOIL	PR1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	21.1539	21.3009	-0.6952	21.2495	-0.4522	21.3035	-0.7073
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	
N2	0.0035	0.0035	0.2623	0.0035	0.1012	0.0035	0.1834
CO2	0.0376	0.0374	0.6854	0.0374	0.6129	0.0374	0.6973
C1	0.7888	0.7865	0.2970	0.7875	0.1614	0.7869	0.2394
C2	0.0969	0.0970	-0.0933	0.0968	0.0581	0.0968	0.1212
C3	0.0444	0.0454	-2.2203	0.0447	-0.6198	0.0448	-0.7312
IC4	0.0076	0.0078	-2.4325	0.0078	-2.0506	0.0077	-1.1193
NC4	0.0120	0.0123	-3.1196	0.0124	-3.4740	0.0122	-2.0228
IC5	0.0028	0.0029	-2.5937	0.0030	-5.2268	0.0030	-4.2653
NC5	0.0026	0.0027	-2.6826	0.0027	-5.4374	0.0027	-4.4728
nC6/nC6/22MC4	0.0018	0.0019	-5.0746	0.0020	-9.2393	0.0027	-49.7858
3MC6/nC7/Toluene	0.0012	0.0017	-35.8236	0.0014	-15.8631	0.0009	23.7550
2MC7/nC8/E-Benzene	0.0005	0.0008	-40.2281	0.0006	-7.1249	0.0004	32.1790
4MC8/nC9/224-MC5	0.0001	0.0002	-46.3787	0.0001	-3.7316	0.0011	-736.7695
nC11/ nC11/ nC11	1.63E-05	3.16E-05	-94.1831	3.34E-05	-105.4930	3.14E-05	-93.2097
nC18/ nC18/ nC18	6.48E-09	2.30E-08	-255.0683	2.42E-08	-274.0981	2.75E-08	-324.9585
nC32/nC30/nC32	8.99E-17	7.96E-15	-8754.6258	4.85E-15	-5296.2813	1.29E-14	-14240.4021
H2S	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	

Πίνακας 29 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ρεύματος υγραερίων της μονάδας Kristin με χρήση PR και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού

Τέλος παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα με UMR_new και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Ρεύμα Υγραερίων (Fuel Gas)	STATOIL	UMR1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	UMR2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	UMR3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	21.1539	21.2000	-0.2180	21.1841	-0.1430	21.32312815	-0.8001
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0000	0.0000	-	0	-	0	-
N2	0.0035	0.0035	-0.0072	0.0035	-0.0359	3.48E-03	0.1208
CO2	0.0376	0.0375	0.4266	0.0375	0.4228	3.74E-02	0.6475
C1	0.7888	0.7888	0.0079	0.7889	-0.0117	0.786918032	0.2409
C2	0.0969	0.0967	0.1900	0.0966	0.2465	9.66E-02	0.3294
C3	0.0444	0.0445	-0.1581	0.0445	-0.1932	4.46E-02	-0.3458
IC4	0.0076	0.0076	-0.5140	0.0077	-1.2590	7.70E-03	-1.2996
NC4	0.0120	0.0119	0.3157	0.0121	-0.7860	1.21E-02	-1.3630
IC5	0.0028	0.0028	1.2703	0.0029	-0.5570	2.97E-03	-4.6521
NC5	0.0026	0.0025	2.2640	0.0026	0.2378	2.71E-03	-4.9826
nC6/nC6/22MC4	0.0018	0.0018	2.2602	0.0019	-1.4267	3.19E-03	-73.8532
3MC6/nC7/Toluene	0.0012	0.0015	-23.5497	0.0013	-4.0891	9.05E-04	27.1620

2MC7/nC8/E-Benzene	0.0005	0.0007	-25.0902	0.0005	6.8554	3.46E-04	36.4013
4MC8/nC9/224-MC5	0.0001	0.0002	-29.7740	9.88E-05	21.4445	1.09E-03	-765.7155
nC11/ nC11/ nC11	1.63E-05	2.06E-05	-26.5942	2.24E-05	-37.4481	2.32E-05	-42.6760
nC18/ nC18/ nC18	6.48E-09	4.13E-09	36.2133	4.41E-09	31.9247	4.10E-09	36.7613
nC32/nC30/nC32	8.99E-17	3.89E-14	-43200.6367	1.29E-13	-143677.6640	3.08E-14	-34130.7763
H2S	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	-

Πίνακας 30 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ρεύματος υγραερίων της μονάδας Kristin με χρήση UMR_new και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού

Για το ρεύμα υγραερίων αυτά που αξίζει να παρατηρήσουμε είναι ότι αρχικά στα ελαφριά κλάσματα (μέχρι C6) η προσέγγιση των νέων προσομοιώσεων σε σχέση με αυτήν της Statoil είναι αρκετά καλή. Μετά το C6 (στο κλάσμα C7+) παρατηρούμε μεγάλα γενικώς σφάλματα-αποκλίσεις. Αυτό μπορεί να οφείλεται και στις ιδιότητες των ψευδοσυστατικών που εισήχθησαν στο Hysys. Επίσης επειδή στις προσομοιώσεις μας με SRK και PR χρησιμοποιήθηκαν τα default k_{ij} του Hysys, ενώ η προσομοίωση της Statoil είχε διαφορετικούς συντελεστές αλληλεπίδρασης πράγμα που ίσως δημιούργησε διαφορετικά αποτελέσματα. Μπορεί τα σφάλματα να είναι αρκετά μεγάλα δεν παύει όμως να αφορούν συστατικά σε πολύ μικρές συστάσεις κάτι που ίσως ελαττώνει την σημασία τους. Σε ότι αφορά την θερμοκρασία παρατηρούμε ανεπαίσθητες αποκλίσεις. Αξιολογώντας τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι ο δεύτερος χαρακτηρισμός (αυτός των κανονικών αλκανίων) έχει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα με όλες τις καταστατικές εξισώσεις. Η διαφορά εντοπίζεται στα βαρύτερα συστατικά όπου παρατηρούμε ότι σχεδόν σε όλα τα συστατικά έχει μικρότερες αποκλίσεις σε σχέση με τους άλλους χαρακτηρισμούς. Η καλύτερη πρόβλεψη εμφανίζεται από το UMR_new σε ότι αφορά τις καταστατικές εξισώσεις. Εκτός από ποιοτική παρατήρηση σε επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί η επίδραση της μεθόδου χαρακτηρισμού και του μοντέλου στις παρατηρούμενες αποκλίσεις.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα για το ελαφρύ ρεύμα εξόδου (πλούσιο σε μεθάνιο) με SRK, PR και UMR_new και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμούς.

Αρχικά θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του ρεύματος αυτού με την SRK και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού.

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)	STATOIL	SRK1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	21.1371	21.1799	-0.2024	21.1838	-0.1413	21.2424	-0.4184
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	-
N2	0.0035	0.0035	-0.0423	0.0035	-0.0334	0.0035	0.0524
CO2	0.0376	0.0374	0.4715	0.0375	0.4562	0.0374	0.5651
C1	0.7891	0.7888	0.0408	0.7888	0.0443	0.7881	0.1314
C2	0.0969	0.0969	-0.0025	0.0969	-0.0287	0.0968	0.0328
C3	0.0444	0.0446	-0.4799	0.0446	-0.5060	0.0446	-0.5422
IC4	0.0076	0.0076	-0.8004	0.0077	-1.6742	0.0077	-1.1656
NC4	0.0119	0.0121	-1.0184	0.0122	-2.1389	0.0121	-1.2721
IC5	0.0028	0.0027	3.3103	0.0028	1.1644	0.0028	1.3644
NC5	0.0026	0.0025	1.8750	0.0026	-0.5512	0.0026	-0.2382

nC6/nC6/22MC4	0.0018	0.0017	4.5238	0.0018	0.4210	0.0025	-39.6004
3MC6/nC7/Toluene	0.0012	0.0014	-18.8688	0.0012	0.1370	0.0008	34.5264
2MC7/nC8/E-Benzene	0.0005	0.0006	-15.6002	0.0004	12.6281	0.0003	46.5727
4MC8/nC9/224-MC5	0.0001	0.0001	-13.1243	8.46E-05	24.0646	0.0009	-688.3794
nC11/ nC11/ nC11	9.63E-06	1.31E-05	-35.6770	1.45E-05	-50.7171	1.33E-05	-37.8766
nC18/ nC18/ nC18	1.44E-10	3.29E-10	-127.6987	3.88E-10	-168.5223	4.61E-10	-219.5234
nC32/nC30/nC32	2.14E-22	5.25E-20	-24450.2474	2.72E-20	-12615.7158	1.23E-19	-57539.8340
H2S	0	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	-

Πίνακας 31 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) της μονάδας Kristin με χρήση SRK και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα για το ελαφρύ ρεύμα με Peng Robinson και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)	STATOIL	PR1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	21.1371	21.2749	-0.6521	21.2269	-0.4248	21.2815	-0.6829
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	-
N2	0.0035	0.0035	0.2387	0.0035	0.0877	0.0035	0.1731
CO2	0.0376	0.0374	0.6806	0.0374	0.6095	0.0374	0.6953
C1	0.7891	0.7869	0.2800	0.7879	0.1514	0.7873	0.2303
C2	0.0969	0.0969	-0.0852	0.0968	0.0623	0.0967	0.1208
C3	0.0444	0.0454	-2.1663	0.0447	-0.5897	0.0447	-0.7145
IC4	0.0076	0.0078	-2.3205	0.0077	-1.9876	0.0077	-1.0732
NC4	0.0119	0.0123	-2.9673	0.0123	-3.3850	0.0122	-1.9481
IC5	0.0028	0.0029	-2.3356	0.0030	-5.0799	0.0029	-4.1431
NC5	0.0026	0.0026	-2.3434	0.0027	-5.2315	0.0027	-4.2840
nC6/nC6/22MC4	0.0018	0.0019	-4.4692	0.0020	-8.9048	0.0027	-50.1274
3MC6/nC7/Toluene	0.0012	0.0016	-35.5780	0.0014	-15.5274	0.0009	25.0373
2MC7/nC8/E-Benzene	0.0005	0.0007	-39.9645	0.0005	-6.1995	0.0003	34.6353
4MC8/nC9/224-MC5	0.0001	0.0002	-46.3881	0.0001	-2.1305	0.0010	-811.9097
nC11/ nC11/ nC11	9.63E-06	2.02E-05	-110.1797	2.22E-05	-130.9717	2.08E-05	-116.5448
nC18/ nC18/ nC18	1.44E-10	1.12E-09	-678.3878	1.29E-09	-795.7659	1.71E-09	-1084.7192
nC32/nC30/nC32	2.14E-22	3.69E-19	-172407.3353	1.58E-19	-73803.4543	9.90E-19	-462729.5850
H2S	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0.0000	-

Πίνακας 32Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) της μονάδας Kristin με χρήση PR και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού

Τέλος παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα με UMR_new και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)	STATOIL	UMR1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	UMR2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	UMR3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	21.1371	21.1777	-0.1922	21.1589	-0.1029	21.3024	-0.7819
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0000	0.0000	-	0.0000	-	0	-
N2	0.0035	0.0035	-0.0241	0.0035	-0.0422	0.0035	0.1104
CO2	0.0376	0.0375	0.4259	0.0375	0.4241	0.0374	0.6485
C1	0.7891	0.7891	-0.0042	0.7892	-0.0165	0.7873	0.2331
C2	0.0969	0.0967	0.2017	0.0966	0.2532	0.0965	0.3359
C3	0.0444	0.0444	-0.1193	0.0445	-0.1787	0.0445	-0.3273
IC4	0.0076	0.0076	-0.4341	0.0077	-1.2301	0.0077	-1.2586
NC4	0.0119	0.0119	0.4274	0.0120	-0.7404	0.0121	-1.3015
IC5	0.0028	0.0028	1.4693	0.0028	-0.4792	0.0030	-4.5353
NC5	0.0026	0.0025	2.5200	0.0026	0.3498	0.0027	-4.8212
nC6/nC6/22MC4	0.0018	0.0018	2.7296	0.0018	-1.2532	0.0032	-74.6710
3MC6/nC7/Toluene	0.0012	0.0015	-23.4490	0.0012	-3.9138	0.0009	27.6851
2MC7/nC8/E-Benzene	0.0005	0.0006	-24.6333	0.0005	7.7486	0.0003	37.7790
4MC8/nC9/224-MC5	0.0001	0.0001	-29.5228	8.4942E-05	23.7875	0.0010	-841.1975
nC11/ nC11/ nC11	9.63E-06	1.18E-05	-22.8130	1.3581E-05	-41.0937	1.36E-05	-41.7266
nC18/ nC18/ nC18	1.44E-10	5.43E-11	62.3750	6.4765E-11	55.1265	5.30E-11	63.2513
nC32/nC30/nC32	2.14E-22	1.62E-18	-757461.1017	9.8278E-18	-4595302.5834	1.10E-18	-515854.5416
H2S	0.0000	0	-	0.0000	-	0	-

Πίνακας 33 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) της μονάδας Kristin με χρήση UMR_new και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού

Σε ότι αφορά το ελαφρύ ρεύμα πλούσιο σε μεθάνιο (Export Gas) παρατηρούμε γενικώς μια μεγάλη ταύτιση με την χρήση της SRK ενώ και η Peng Robinson έχει μικρές διαφορές σε σχέση με την πρόβλεψη της σύστασης του ρεύματος στα ελαφρύτερα κλάσματα (μέχρι C6). Από εκεί και πάνω και πάλι η παρουσιάζονται μεγάλες αποκλίσεις (μεγαλύτερες στην Peng Robinson) πράγμα που αποδίδεται και πάλι στην μέθοδο χαρακτηρισμού ή στους συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij}. Σε ότι αφορά την μολαρική ροή παρουσιάζει μια απειροελάχιστη απόκλιση στην προσομοίωση με SRK ενώ ελαφρώς μεγαλύτερη είναι η απόκλιση στην προσομοίωση με PR.Σε ότι αφορά την προσομοίωση με UMR_new παρατηρούμε εκ νέου εξαιρετική ταύτιση στα ελαφρύτερα κλάσματα. Σε ότι αφορά τα βαρύτερα κλάσματα ο δεύτερος χαρακτηρισμός κρίνεται σαφώς πιο επιτυχημένος από τον πρώτον και τον τρίτο (πράγμα που εκτός από τις συγκεντρώσεις αποτυπώνεται και στο μοριακό βάρος το οποίο διαφέρει ελάχιστα σε σχέση με το μοριακό βάρος της προσομοίωσης της Statoil.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα για το ρεύμα του συμπυκνώματος με SRK, PR και UMR_new και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμούς.

Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με SRK:

Ρεύμα συμπυκνώματος (Condensate)	STATOIL	SRK1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	140.5777	145.2951	-3.3557	144.1366	-2.5317	142.1249	-1.1007
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0536	0.0530	1.1021	0.0530	1.0651	0.0530	1.1795
N2	2.1013E-07	6.6094E-07	-214.5445	0.0000	-200.6488	0.0000	-163.6494
CO2	0.0002	0.0003	-45.2326	0.0003	-36.2834	0.0003	-43.7592
C1	0.0009	0.0011	-19.4271	0.0011	-15.1255	0.0010	-7.4044
C2	0.0032	0.0028	10.8563	0.0028	12.5998	0.0028	13.2292
C3	0.0159	0.0140	12.1474	0.0137	13.8990	0.0144	9.6940
IC4	0.0139	0.0132	4.5640	0.0131	5.8106	0.0136	1.7728
NC4	0.0375	0.0363	3.1699	0.0360	4.1771	0.0374	0.2325
IC5	0.0269	0.0279	-3.4391	0.0274	-1.7379	0.0276	-2.4300
NC5	0.0316	0.0322	-1.8407	0.0317	-0.2336	0.0319	-0.9715
nC6/nC6/22MC4	0.0621	0.0630	-1.5052	0.0624	-0.5198	0.0571	8.1129
3MC6/nC7/Toluene	0.1185	0.1173	0.9554	0.1190	-0.4597	0.1229	-3.7235
2MC7/nC8/E-Benzene	0.1369	0.1370	-0.0715	0.1380	-0.7993	0.1401	-2.3326
4MC8/nC9/224-MC5	0.0901	0.0905	-0.4420	0.0908	-0.7078	0.0850	5.7388
nC11/ nC11/ nC11	0.2143	0.2156	-0.6211	0.2154	-0.5183	0.2166	-1.0616
nC18/ nC18/ nC18	0.1514	0.1523	-0.6449	0.1522	-0.5478	0.1530	-1.0881
nC32/nC30/nC32	0.0429	0.0432	-0.6978	0.0431	-0.6007	0.0434	-1.1413
H2S	9.6703E-07	8.0000E-07	17.2723	0.0000	21.1369	0.0000	10.5485

Πίνακας 34 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με χρήση SRK και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα με την καταστατική εξίσωση Peng Robinson και τους 3 χαρακτηρισμούς.

Ρεύμα συμπυκνώματος (Condensate)	STATOIL	PR1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	140.5777	145.2681	-3.3365	144.7609	-2.9758	142.7108	-1.5174
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0536	0.0518	3.2450	0.0529	1.2887	0.0528	1.3743
N2	2.1013E-07	6.26E-07	-197.7780	6.13E-07	-191.7826	5.56E-07	-164.8149
CO2	0.0002	0.0003	-38.4150	0.0003	-33.9505	0.0003	-39.8865
C1	0.0009	0.0011	-13.8425	0.0011	-14.4202	0.0010	-7.0017
C2	0.0032	0.0029	10.6256	0.0028	13.4726	0.0027	13.9864
C3	0.0159	0.0154	3.1197	0.0135	15.0700	0.0140	12.1978
IC4	0.0139	0.0146	-5.0795	0.0128	7.8482	0.0135	2.8578
NC4	0.0375	0.0392	-4.5131	0.0347	7.4075	0.0365	2.6658
IC5	0.0269	0.0271	-0.4748	0.0263	2.5541	0.0265	1.6772
NC5	0.0316	0.0322	-1.9558	0.0311	1.7947	0.0314	0.7312
nC6/nC6/22MC4	0.0621	0.0622	-0.0951	0.0616	0.7716	0.0561	9.6607
3MC6/nC7/Toluene	0.1185	0.1147	3.1949	0.1186	-0.1265	0.1231	-3.8731
2MC7/nC8/E-Benzene	0.1369	0.1362	0.5815	0.1386	-1.1701	0.1409	-2.8884

4MC8/nC9/224-MC5	0.0901	0.0904	-0.2822	0.0914	-1.3782	0.0846	6.1179
nC11/ nC11/ nC11	0.2143	0.2160	-0.8149	0.2173	-1.4159	0.2184	-1.9336
nC18/ nC18/ nC18	0.1514	0.1527	-0.8840	0.1536	-1.4746	0.1544	-1.9863
nC32/nC30/nC32	0.0429	0.0433	-0.9373	0.0435	-1.5280	0.0437	-2.0399
H2S	9.6703E-07	7.32E-07	24.3240	6.95E-07	28.0937	7.82E-07	19.1544

Πίνακας 35 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με χρήση PR και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού

Τέλος ακολουθούν τα αποτελέσματα με το μοντέλο UMR_new και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Ρεύμα συμπυκνώματος (Condensate)	STATOIL	UMR1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	UMR2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	UMR3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	140.5777	145.2000	-3.2881	144.2000	-2.5767	142.9000	-1.6520
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0536	0.0507	5.3439	0.0508	5.1911	0.0519	3.1741
N2	2.1013E-07	2.77E-07	-31.8923	2.91E-07	-38.6326	2.11E-07	-0.2004
CO2	0.0002	0.0003	-35.5988	0.0003	-39.9212	0.0003	-36.4492
C1	0.0009	0.0009	-1.4768	0.0010	-5.6913	0.0008	10.7555
C2	0.0032	0.0040	-26.2700	0.0041	-27.4316	0.0038	-19.3209
C3	0.0159	0.0153	4.1788	0.0149	6.6561	0.0147	7.9888
IC4	0.0139	0.0136	1.8121	0.0131	5.2970	0.0133	3.9300
NC4	0.0375	0.0380	-1.3805	0.0368	2.0051	0.0370	1.4672
IC5	0.0269	0.0274	-1.8099	0.0268	0.4464	0.0265	1.5906
NC5	0.0316	0.0324	-2.3160	0.0317	-0.3476	0.0313	0.9902
nC6/nC6/22MC4	0.0621	0.0628	-1.0727	0.0622	-0.0959	0.0526	15.2616
3MC6/nC7/Toluene	0.1185	0.1169	1.3398	0.1186	-0.1359	0.1236	-4.3514
2MC7/nC8/E-Benzene	0.1369	0.1367	0.1894	0.1380	-0.7540	0.1415	-3.3138
4MC8/nC9/224-MC5	0.0901	0.0902	-0.0443	0.0909	-0.7875	0.0847	6.0746
nC11/ nC11/ nC11	0.2143	0.2155	-0.5450	0.2155	-0.5666	0.2192	-2.3010
nC18/ nC18/ nC18	0.1514	0.1522	-0.5577	0.1522	-0.5892	0.1549	-2.3276
nC32/nC30/nC32	0.0429	0.0431	-0.5578	0.0431	-0.5895	0.0439	-2.3814
H2S	9.6703E-07	1.14E-06	-17.6341	1.15E-06	-18.9354	0.0000	-25.4236

Πίνακας 36 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με χρήση UMR_new και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού

Αναλύοντας τα αποτελέσματα για το ρεύμα του συμπυκνώματος παρατηρούμε ότι ο 1^{ος} χαρακτηρισμός αποδίδει καλύτερα σε σχέση με τους άλλους δύο. Η χρήση του στο μοντέλο του UMR_new δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα άλλα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στο Hysys (fluid packages). Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις εμφανίζονται στις συγκεντρώσεις του αζώτου και του διοξειδίου του άνθρακα ειδικά με τις SRK και PR. Οι διαφορές αυτές μπορεί να εξηγηθούν λόγω των διαφορετικών kij συντελεστών αλληλεπίδρασης. Έγινε χρήση των default συντελεστών αλληλεπίδρασης που υπάρχουν στην βάση δεδομένων ή εκτιμώνται από το Hysys.

Εν συνεχεία θα παρουσιασθούν οι αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν στην πρόβλεψη των συστάσεων των ρευμάτων εμπλουτισμού του Export Gas και του Condensate.

Αρχικά θα παρουσιασθούν οι πίνακες που θα συγκεντρώνουν τις αποκλίσεις με κάθε μοντέλο και μέθοδο χαρακτηρισμού για τα ρεύματα εμπλουτισμού του συμπυκνώματος (Ρεύμα 40, Ρεύμα 10, Ρεύμα 45, Ρεύμα 44). Τα ρεύματα αυτά όπως είναι εύκολα κατανοητό αναμένονται να έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση στα βαρύτερα συστατικά.

Ακολουθεί ο πίνακας των % αποκλίσεων για το Ρεύμα 40:

Ρεύμα 40 (% Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	-4.50	1.66	-4.37	-4.58	1.63	-5.10	0.03	6.86	4.65
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	2.16	-4.61	3.38	1.68	-5.04	4.09	-4.41	-12.06	-9.06
N2	-86.04	-71.03	-40.43	-93.63	-66.55	-46.63	-23.57	-10.62	8.40
CO2	-33.34	-16.62	-28.69	-35.39	-16.81	-32.07	-18.98	-8.67	-9.41
C1	-16.68	-5.27	5.03	-19.96	-6.76	1.13	0.21	9.90	19.54
C2	4.04	12.67	13.78	2.81	12.28	11.37	-17.75	-5.15	0.65
C3	1.10	10.02	5.68	1.05	9.41	7.31	6.87	18.33	19.77
IC4	-5.82	4.09	0.60	-5.24	2.60	-3.51	5.91	17.56	16.79
NC4	-11.00	-1.30	-6.53	-8.51	-0.91	-8.92	2.79	14.21	14.35
IC5	-14.40	-8.03	-7.20	-6.85	-0.39	-2.15	4.86	13.50	14.76
NC5	-13.56	-8.16	-7.70	-10.34	-4.16	-7.09	3.43	11.28	12.61
nC6/nC6/22MC4	-5.16	-3.01	-10.45	-4.20	-1.19	-9.51	6.07	9.33	14.35
3MC6/nC7/Toluene	1.67	12.45	15.01	1.06	11.66	11.92	8.34	17.57	34.05
2MC7/nC8/E-Benzene	8.04	22.64	28.92	5.64	20.72	25.40	6.78	23.07	38.23
4MC8/nC9/224-MC5	11.11	31.40	-186.70	6.48	26.77	-184.06	6.08	32.15	-210.37
nC11/ nC11/ nC11	6.46	0.58	9.23	-2.39	-8.08	1.92	3.80	-3.56	-3.15
nC18/ nC18/ nC18	51.88	45.70	52.02	40.39	33.91	41.18	52.30	46.36	52.70
nC32/nC30/nC32	86.99	78.73	86.53	83.60	73.55	83.28	-227.79	-595.59	-188.89
H2S	5.38	18.89	-5.55	13.32	23.79	0.37	-9.27	1.43	-11.18

Πίνακας 37 Αποκλίσεις ρεύματος 40 εμπλουτισμού συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Στην συνέχεια θα παρουσιασθούν τα ίδια αποτελέσματα για το Ρεύμα 10:

Ρεύμα 10 (% Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	-1.24	-0.80	-2.41	-1.44	-0.85	-2.51	-0.90	-0.57	-2.65
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-39.20	-39.85	-33.94	-41.76	-39.65	-35.42	-4.93	-5.58	-7.16
N2	-17.49	-15.33	-21.21	-17.58	-15.38	-20.84	-19.02	-20.40	-28.33
CO2	-5.33	-5.30	-1.87	-7.99	-7.61	-4.14	2.10	0.81	0.54
C1	8.52	8.15	8.58	7.43	7.02	7.49	-17.48	-16.90	-19.91
C2	5.86	5.86	4.95	5.76	5.65	5.51	4.62	6.88	4.72
C3	3.25	3.87	5.34	3.79	2.78	4.87	5.41	6.25	8.35

IC4	-3.16	-2.99	0.44	-1.71	-2.32	1.06	0.89	0.94	6.10
NC4	-1.64	-4.89	6.74	-0.38	-3.19	7.69	0.76	-2.30	9.39
IC5	-5.13	-9.32	4.29	-3.63	-6.85	5.51	-1.13	-5.45	7.71
NC5	4.24	-1.86	-62.41	0.51	-4.20	-63.59	0.85	-9.86	-76.81
nC6/nC6/22MC4	-11.05	17.39	49.33	-20.02	11.52	45.13	-22.69	4.02	42.01
3MC6/nC7/Toluene	2.78	36.80	63.01	-10.29	30.05	57.59	-16.60	23.33	54.13
2MC7/nC8/E-Benzene	7.22	49.67	-1858.71	-11.17	38.22	-1981.27	-25.38	41.89	-2325.79
4MC8/nC9/224-MC5	-17.11	-35.10	-14.93	-55.53	-74.25	-51.68	-21.41	-49.96	-18.48
nC11/ nC11/ nC11	42.32	28.94	8.54	-9.20	-29.49	-83.20	75.87	68.88	79.88
nC18/ nC18/ nC18	17.24	-41.68	-211.05	-73.78	-187.82	-648.01	-17366.13	-73179.58	-10942.30
nC32/nC30/nC32	14.16	15.86	7.07	19.33	19.96	12.03	-12.06	-11.51	-21.88
H2S	-39.20	-39.85	-33.94	-41.76	-39.65	-35.42	-4.93	-5.58	-7.16

Πίνακας 38 Αποκλίσεις ρεύματος 10 εμπλουτισμού συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Ακόμα από τα ρεύματα εμπλουτισμού του συμπυκνώματος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το Ρεύμα 45:

Ρεύμα 45 (% Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	0.51	0.18	-3.22	-0.89	-1.31	-4.85	-0.79	-1.22	-1.33
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N2	-26.30	-25.43	-7.56	-26.17	-22.53	-6.28	-14.67	-12.41	-5.80
CO2	-4.21	-2.03	-2.00	-3.67	-1.43	-1.33	-6.80	-6.01	-6.78
C1	-6.02	-4.90	3.95	-6.00	-4.85	4.39	-3.37	-2.11	0.03
C2	-0.07	0.20	3.15	1.22	1.49	4.51	-4.68	-4.27	-2.51
C3	0.23	-0.08	-0.25	2.67	2.40	3.32	1.25	1.10	2.61
IC4	0.96	-0.19	-0.78	3.59	2.37	0.85	2.36	1.20	2.24
NC4	-0.76	-2.44	-4.65	1.85	0.35	-2.87	1.70	-0.06	0.64
IC5	1.83	-1.19	-5.61	4.92	2.11	-2.06	4.32	1.51	-1.72
NC5	1.21	-2.24	-7.69	2.43	-0.86	-6.57	3.37	0.15	-4.23
nC6/nC6/22MC4	7.80	2.41	-7.01	7.00	1.98	-7.81	7.84	2.60	-5.26
3MC6/nC7/Toluene	8.46	7.89	13.14	5.91	5.21	8.74	7.18	5.13	28.30
2MC7/nC8/E-Benzene	10.18	13.95	21.76	5.17	8.72	14.84	3.43	7.59	31.14
4MC8/nC9/224-MC5	12.21	21.22	-106.82	3.90	12.21	-111.69	3.57	15.88	-133.48
nC11/ nC11/ nC11	7.84	-5.47	-7.20	-12.14	-27.42	-31.08	3.46	-14.99	-18.50
nC18/ nC18/ nC18	-11.03	-35.90	-56.68	-124.96	-173.67	-234.90	52.95	40.32	47.49
nC32/nC30/nC32	-1735.51	-1319.74	-3344.43	-5579.18	-3981.28	-11675.33	-31544.36	-124958.17	-28053.69
H2S	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 39 Αποκλίσεις ρεύματος 45 εμπλουτισμού συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Τέλος για το Ρεύμα 44 (τελευταίο ρεύμα εμπλουτισμού του συμπυκνώματος που εξετάζουμε) τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

Ρεύμα 44 (% Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	-1.03	0.07	-1.36	-1.28	-0.16	-1.66	1.24	2.32	1.26
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-17.08	-20.50	-14.95	-17.61	-20.93	-15.59	-25.03	-32.27	-24.40
N2	-41.45	-40.39	-30.81	-42.47	-38.70	-30.97	-7.00	-5.74	-1.00
CO2	-6.04	-3.75	-7.74	-5.81	-3.69	-7.20	-9.47	-8.28	-13.96
C1	0.35	1.17	4.42	-0.90	-0.07	3.49	3.56	4.67	4.49
C2	10.24	10.39	10.39	10.06	10.06	10.24	-5.60	-3.67	-6.44
C3	8.58	8.56	7.18	9.24	9.42	8.79	9.13	11.25	9.17
IC4	5.19	4.69	5.76	6.25	4.89	6.33	8.58	9.31	10.48
NC4	0.07	-0.78	2.15	1.43	0.78	2.86	5.53	5.18	8.82
IC5	-3.45	-4.85	2.31	-3.69	-6.00	1.35	1.54	-1.91	5.41
NC5	-6.03	-7.55	-0.34	-4.88	-7.04	0.16	2.33	-1.60	5.28
nC6/nC6/22MC4	-9.10	-12.03	-54.95	-12.37	-13.72	-57.08	-2.36	-6.56	-56.29
3MC6/nC7/Toluene	-9.46	3.26	15.50	-12.95	0.29	11.20	-1.50	7.86	32.28
2MC7/nC8/E-Benzene	-5.24	11.03	22.68	-9.81	7.16	17.46	-1.21	13.86	35.84
4MC8/nC9/224-MC5	-2.96	17.70	-183.41	-9.27	11.46	-190.49	0.07	21.86	-190.60
nC11/ nC11/ nC11	-9.75	-11.21	-6.69	-20.26	-21.61	-17.09	-4.49	-9.64	-7.05
nC18/ nC18/ nC18	22.70	19.88	21.81	5.23	1.94	3.49	29.76	25.37	31.10
nC32/nC30/nC32	-55.37	-86.01	-69.14	-101.59	-141.06	-122.29	-1201.13	-2214.26	-1078.77
H2S	13.44	15.15	-69.14	16.52	17.37	10.64	-1.68	0.08	-8.36

Πίνακας 40 Αποκλίσεις ρεύματος 44 εμπλουτισμού συμπυκνώματος με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Για να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα πέρα από ποιοτικά βλέποντας τις αποκλίσεις ανά συστατικό αυτό που πράξαμε είναι να υπολογίσουμε τον σταθμικό μέσο των αποκλίσεων. Θεωρήσαμε όπως είναι λογικό ότι κάθε απόκλιση δεν έχει την ίδια σημασία καθώς εξαρτάται για το μέγεθος της συγκέντρωσης του συστατικού. Δηλαδή μεγάλες αποκλίσεις που παρατηρούνται σε βαριά συστατικά του μίγματος είναι μικρότερης σημασίας από τις αποκλίσεις στα ελαφρύτερα συστατικά καθώς αυτά είναι μεγαλύτερης συγκέντρωσης από τα βαρύτερα. Έτσι ο σταθμικός μέσος θεωρήθηκε ένας καλός τρόπος γρήγορων συγκρίσεων.

Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται οι σταθμικοί μέσοι των αποκλίσεων με όλα τα μοντέλα και μεθόδους χαρακτηρισμού:

Σταθμικός μέσος των σφαλμάτων	Ρεύμα 40	Ρεύμα 10	Ρεύμα 45	Ρεύμα 44	Μέσος Όρος
SRK1	4.53	4.11	4.23	7.25	5.03
SRK2	6.64	5.09	3.88	8.22	5.96
SRK3	17.17	37.42	10.07	12.71	19.34
PR1	3.22	3.69	4.42	8.19	4.88
PR2	6.08	4.25	3.95	8.34	5.65
PR3	16.81	41.52	10.69	13.39	20.60
UMR1	5.06	4.06	3.73	9.23	5.52
UMR2	13.33	5.21	3.08	11.65	8.32
UMR3	25.40	57.33	11.81	17.16	27.93

Πίνακας 41 Σταθμικός μέσος αποκλίσεων για τα ρεύματα εμπλουτισμού συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Τα καλύτερα αποτελέσματα όπως βλέπουμε σε όλα τα ρεύματα δίνουν τα μοντέλα που χρησιμοποιούν τον πρώτο χαρακτηρισμό. Ελαφρύ προβάδισμα έχει σε όλα σχεδόν τα ρεύματα η Peng Robinson με τις διαφορές όμως με τα UMR_new και SRK να είναι πολύ μικρές.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) τα όποια αναμένονται να είναι lean gas δηλαδή πολύ υψηλής περιεκτικότητας σε μεθάνιο. Τα ρεύματα που μελετήθηκαν είναι: Ρεύμα 3, Ρεύμα 19 και Ρεύμα 24. Είναι τα ελαφριά ρεύματα των διαχωριστήρων που οδηγούνται προς το ρεύμα πλούσιο σε μεθάνιο (Export Gas) .

Ακολουθεί ο πίνακας των % αποκλίσεων για το Ρεύμα 3:

Ρεύμα 3 (% Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	-0.7175	-0.0921	-0.6274	-1.4722	-0.7847	-1.3131	-0.7937	0.0367	-0.7580
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-3.8834	-5.0452	-5.0302	-3.5995	-4.8257	-4.8078	-59.5433	-61.3764	-61.7150
N2	0.5498	0.2933	0.6012	1.0426	0.7280	1.0435	0.5696	0.0219	0.7121
CO2	1.5373	1.3461	1.6125	1.6096	1.4618	1.6869	1.8511	1.8574	2.1115
C1	0.1974	-0.0114	0.2461	0.5043	0.2723	0.5305	0.6249	0.2918	0.7666
C2	-0.2970	-0.2302	-0.1828	-0.4859	-0.4105	-0.3345	1.6745	2.0129	1.5743
C3	-1.1249	-0.5654	-0.8522	-1.9596	-1.3762	-1.6112	-0.4565	0.7083	-0.7769
IC4	-0.9347	-0.0919	-0.6713	-2.4857	-1.5352	-2.0053	-0.8572	0.9189	-1.4403
NC4	-2.0951	-1.0903	-1.9001	-4.2190	-3.0734	-3.7635	-0.7784	1.1566	-1.7519
IC5	-0.5935	0.3805	-0.9718	-4.6997	-3.5199	-4.6597	-0.5604	1.4949	-3.1077
NC5	-2.7257	-1.6776	-3.2012	-6.7527	-5.4552	-6.8013	-1.4295	0.6872	-4.4304
nC6/nC6/22MC4	-0.5560	0.3765	-21.3494	-7.1980	-5.8997	-28.0108	-1.2133	0.7613	-35.1703
3MC6/nC7/Toluene	-8.8001	4.0562	18.4662	-18.2757	-4.6579	10.5978	-11.0469	2.2389	28.0686
2MC7/nC8/E-Benzene	-5.2209	11.5890	23.9222	-17.0641	1.4722	14.0219	-12.9849	7.0239	31.5424
4MC8/nC9/224-MC5	-2.2939	18.2087	-154.5830	-16.7040	5.3552	-176.6298	-12.2600	14.6273	-188.4476

nC11/ nC11/ nC11	-3.9709	-2.3865	-3.1750	-24.2884	-22.2254	-23.1396	-13.7069	-12.7648	-17.6978
nC18/ nC18/ nC18	11.9617	12.6908	10.0030	-23.3806	-22.4669	-26.5309	10.3527	10.5592	12.1716
nC32/nC30/nC32	-124.3367	-102.6984	-142.0583	-262.9484	-226.5188	-294.5996	-1948.5183	-3753.7311	-1732.5755
H2S	0.3936	0.4724	0.5653	-0.3896	-0.2551	-0.1991	3.4553	4.0274	3.4938

Πίνακας 42 Αποκλίσεις ρεύματος 3 εμπλουτισμού ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το Ρεύμα 19:

Ρεύμα 19 (% Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	-0.2821	0.6567	-0.7551	-0.3216	0.6622	-0.7469	0.2654	1.6766	-0.2116
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-8.9169	-11.1473	-9.0382	-9.2082	-11.3183	-9.2673	-19.3516	-21.1948	-20.7851
N2	-33.4329	-33.3784	-29.8662	-34.5189	-33.3048	-31.0487	-6.9517	-8.5664	-1.4683
CO2	-4.7105	-4.4340	-6.1756	-4.5982	-4.5838	-6.0845	-5.6666	-6.4779	-8.0044
C1	-0.9735	-1.2979	-0.1569	-1.2357	-1.6018	-0.5114	0.7780	-0.3519	1.6870
C2	5.7807	5.3113	5.2256	6.1019	5.6291	5.5590	-1.8256	-1.3998	-2.2075
C3	4.5326	4.7580	3.7793	5.4634	5.7931	5.1917	5.1454	7.1886	4.8684
IC4	1.9591	2.5299	2.4068	3.3883	3.7279	3.9066	5.0553	7.3606	5.4178
NC4	-1.9178	-1.2908	-0.7339	-0.5531	0.2565	0.6877	3.5073	5.5085	4.1299
IC5	-3.0672	-2.6958	-1.5360	-3.0116	-2.6617	-1.2338	2.0837	3.1376	1.2320
NC5	-4.7650	-4.4048	-3.5292	-4.2820	-3.8369	-2.7785	2.7320	3.7175	1.1132
nC6/nC6/22MC4	-4.9378	-5.0296	-38.3273	-6.6187	-6.2348	-40.0025	1.6350	2.5093	-38.8277
3MC6/nC7/Toluene	-2.2257	10.5716	19.6010	-5.1261	7.9163	15.5563	3.6369	15.8605	34.1719
2MC7/nC8/E-Benzene	2.2682	18.2106	26.9965	-2.0177	14.7111	22.2424	3.8354	21.6320	37.9989
4MC8/nC9/224-MC5	4.6866	24.3874	-171.0307	-1.3297	18.7875	-177.6713	5.1005	28.9706	-183.1032
nC11/ nC11/ nC11	-1.6614	-2.2668	-0.9569	-11.3541	-11.7022	-10.4616	0.9103	0.2414	-3.3440
nC18/ nC18/ nC18	28.3830	26.3460	26.0195	12.2776	9.9287	8.9856	33.4052	32.1204	33.4774
nC32/nC30/nC32	-43.9734	-70.9638	-60.0824	-86.6402	-121.6200	-109.6255	-1133.4038	-2004.6549	-1038.2634
H2S	7.5216	7.6444	4.8023	9.0279	8.8791	6.2144	1.2160	1.7684	-1.7058

Πίνακας 43 Αποκλίσεις ρεύματος 19 εμπλουτισμού ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Ρεύματος 24 που οδηγείται προς το Export Gas:

Ρεύμα 24 (% Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	-1.5600	0.1690	-3.1138	-1.5384	0.1467	-3.2474	0.1796	2.5004	-1.4870
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-5.8139	-11.4281	0.0476	-8.0500	-12.6499	-1.2645	-8.9026	-15.0417	-4.2220
N2	-86.8541	-84.5293	-70.9010	-88.6762	-82.2061	-72.3941	-14.4950	-19.0057	1.8799
CO2	-16.6489	-14.4929	-17.1283	-15.8448	-14.1204	-16.2173	-17.0269	-20.5298	-19.6209
C1	-5.2202	-4.6642	-0.2335	-5.6777	-4.8357	-0.6458	1.2335	-2.2429	7.5438
C2	10.7599	10.3583	11.2635	10.7210	10.3582	11.2210	-10.5715	-11.9315	-8.8944

C3	9.3657	9.2832	7.4960	10.0289	9.6429	8.8064	7.1488	8.5946	6.7371
IC4	4.1182	4.4774	3.3971	5.6007	4.5515	4.0023	6.6168	8.5348	5.2648
NC4	-1.2032	-1.0016	-1.0918	0.9388	0.1833	0.1763	3.6695	5.2856	3.0984
IC5	-4.2032	-5.4232	-0.2288	-2.7271	-4.1800	0.8192	2.4678	2.5051	3.2786
NC5	-7.3487	-8.8410	-2.8704	-5.6079	-6.8956	-1.4158	2.0620	1.6458	2.9466
nC6/nC6/22MC4	-5.7023	-7.7977	-49.8683	-7.3258	-8.2975	-51.0360	1.8914	-0.1408	-48.2769
3MC6/nC7/Toluene	-8.8120	7.6900	19.6921	-12.2896	5.2279	14.8629	-2.4626	12.5572	35.7570
2MC7/nC8/E-Benzene	-0.6146	18.1896	29.4815	-5.7115	14.9736	24.1331	-0.2967	20.3615	41.2654
4MC8/nC9/224-MC5	2.3529	26.3094	-277.4256	-4.9356	20.3872	-285.0158	-0.5226	29.5114	-303.4590
nC11/ nC11/ nC11	-4.3537	-9.7569	3.8218	-16.3456	-20.5222	-6.2708	-3.2519	-10.1137	-0.8953
nC18/ nC18/ nC18	39.6598	32.5945	42.8850	23.8766	16.6692	28.4407	42.6614	35.9063	48.0267
nC32/nC30/nC32	4.2589	-55.1588	5.8665	-22.9810	-98.5557	-19.4256	-2203.8360	-4778.1251	-1763.4936
H2S	14.0119	14.9414	9.2755	17.9608	18.2274	13.1571	-7.7610	-9.0131	-12.8536

Πίνακας 44 Αποκλίσεις ρεύματος 24 εμπλουτισμού ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Όπως και πρίν για να μην περιοριστούμε σε απλή σύγκριση υπολογίζουμε τους σταθμικούς μέσους όρους των σφαλμάτων με κάθε μοντέλο και μέθοδο χαρακτηρισμού:

Σταθμικός μέσος των σφαλμάτων	Ρεύμα 40	Ρεύμα 10	Ρεύμα 45	Ρεύμα 44	Μέσος Όρος
SRK1	0.43	2.79	6.10	3.11	0.43
SRK2	0.24	3.21	7.49	3.64	0.24
SRK3	1.04	3.86	12.34	5.75	1.04
PR1	0.95	3.10	6.86	3.64	0.95
PR2	0.57	3.49	7.41	3.82	0.57
PR3	1.49	4.33	12.82	6.21	1.49
UMR1	1.76	2.93	5.74	3.48	1.76
UMR2	1.51	3.36	8.48	4.45	1.51
UMR3	2.77	5.54	15.40	7.91	2.77

Πίνακας 45 Σταθμικός μέσος αποκλίσεων για τα ρεύματα εμπλουτισμού ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Παρατηρούμε πως στα ελαφρύτερα ρεύματα (αυτά που εμπλουτίζουν το Export Gas) ο δεύτερος χαρακτηρισμός είναι ο καλύτερος με όλα τα μοντέλα. Συγκρίνοντας τα μοντέλα η SRK έχει προβάδισμα, ακολουθεί η Peng Robinson ενώ από κοντά βρίσκεται και το UMR_new.

6.1.3Ενεργειακή ανάλυση της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Στο σημείο αυτό θα γίνει διερεύνηση της πρόβλεψης ενεργειακών αναγκών του μηχανολογικού εξοπλισμού για την μονάδα του Kristin. Έτσι θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα ενεργειακών παροχών για κάθε κομμάτι του μηχανολογικού εξοπλισμού

(εναλλάκτες θερμότητας, αντλίες και συμπιεστές) με SRK, PR και UMR_new και όλους τους χαρακτηρισμούς. Τα αποτελέσματα θα συγκριθούν μεταξύ τους στην συνέχεια.

Είδη μηχανολογικού εξοπλισμού στο Kristin

Στην προσομοίωση του Kristin χρησιμοποιήσαμε 9 εναλλάκτες θερμότητας, 5 αντλίες καθώς και 4 συμπιεστές. Οι προσομοιώσεις έγιναν με χρήση SRK, PR και UMR_new. Τα ενεργειακά αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν συγκρίνονται με τα δεδομένα της προσομοίωσης της Statoil και υπολογίζονται με βάση αυτά οι αποκλίσεις.

Αποτελέσματα

Οι αναλυτικοί πίνακες για τις ενεργειακές απαιτήσεις ισχύος κάθε στοιχείου μηχανολογικού εξοπλισμού (εναλλακτών θερμότητας, αντλιών, συμπιεστών) και η πρόβλεψη με κάθε μοντέλο και μέθοδο χαρακτηρισμού θα παρουσιαστούν σε παράρτημα. Εδώ θα παρουσιάσουμε την μέση απόκλιση ανά είδος μηχανολογικού εξοπλισμού και μέθοδο χαρακτηρισμού:

Μέση απόκλιση ανά Είδος Μηχανολογικού Εξοπλισμού (%)									
	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Εναλλάκτες Θερμότητας	6.344	6.735	3.927	3.425	2.918	0.838	3.621	3.580	1.038
Αντλίες	10.787	6.236	1.903	10.205	5.644	2.024	12.771	8.083	1.084
Συμπιεστές	11.028	9.131	6.437	9.018	3.083	0.195	1.726	1.482	6.385
Μέσος Όρος	9.386	7.367	4.089	7.550	3.882	1.019	6.039	4.382	2.836

Πίνακας 46 Μέση απόκλιση πρόβλεψης ενεργειακών απαιτήσεων ανά είδος μηχανολογικού εξοπλισμού για την μονάδα Kristin

Παρατηρούμε πως η καλύτερη ταύτιση με τις προβλέψεις της προσομοίωσης της Statoil επιτυγχάνεται με την καταστατική Peng Robinson και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού. Ακολουθεί με μικρή διαφορά το μοντέλο UMR_new με την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού. Γενικότερα τα μεγαλύτερα σφάλματα εμφανίζονται στις ενεργειακές προβλέψεις των αντλιών. Αυτό είναι κάτι το αναμενόμενο καθώς οι αντλίες στο διάγραμμα ροής της διεργασίας βρίσκονται κυρίως στο κομμάτι επεξεργασίας για το συμπύκνωμα (Condensate). Στο τμήμα αυτό της διεργασίας όπως είδαμε και πιο πρίν τα βαρύτερα συστατικά (C6+) κυριαρχούν έναντι των ελαφρύτερων με συνέπεια η μέθοδος χαρακτηρισμού που χρησιμοποιήθηκε να επηρεάζει την απόκλιση από το αποτέλεσμα της προσομοίωσης της Statoil.

6.1.4 Πρόβλεψη προδιαγραφής σημείου Cricondenbar της μονάδας Kristin

Σε ότι αφορά την προδιαγραφή Cricondenbar για να γίνει πιο εμπεριστατωμένη σύγκριση χρησιμοποιούνται κάποια πειραματικά δεδομένα από την μονάδα του Kristin με μετρήσεις για το Cricondenbar.

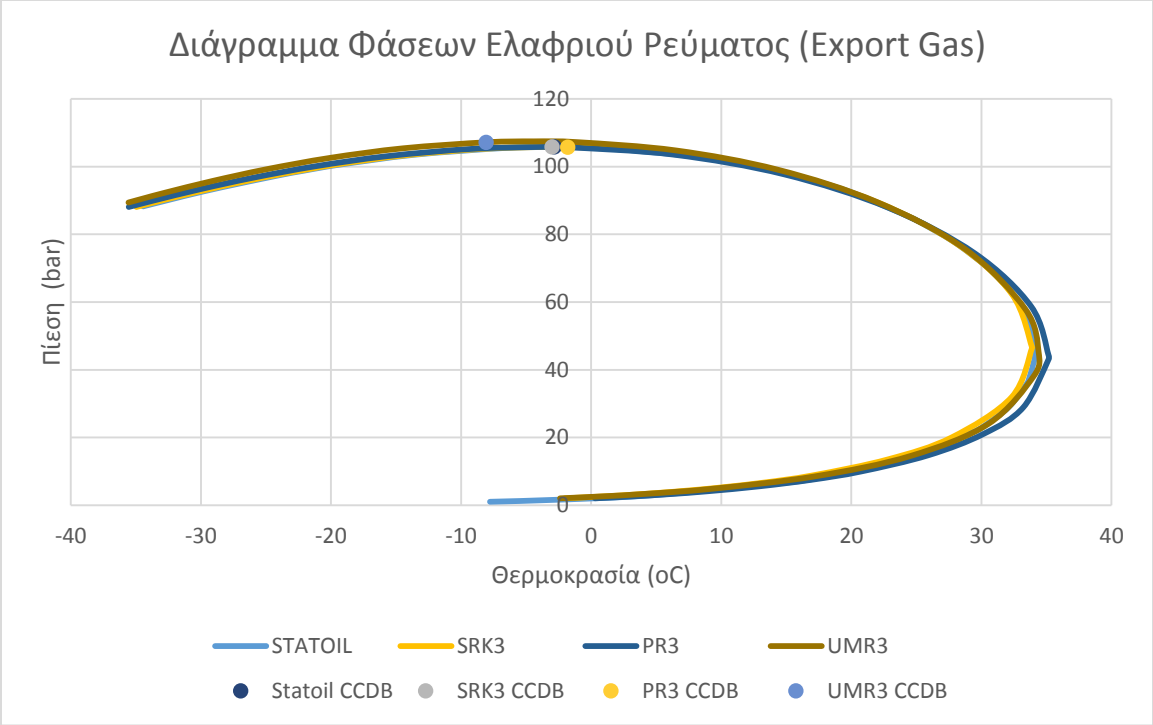
Τα πειραματικά δεδομένα της Statoil συγκρίνονται με τις προσομοιώσεις και συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίεση σημείου Cricondenbar(bar)		
Πίεση		Απόλυτη τιμή Διαφοράς
Πειραματική τιμή[5]	107	-
Statoil	105.79	1.2100
SRK1	105.6268	1.3732
SRK2	105.3156	1.6844
SRK3	105.8338	1.1662
PR1	105.6178	1.3822
PR2	105.2763	1.7237
PR3	105.8015	1.1985
UMR1	108.3103	1.3103
UMR2	107.9316	0.9316
UMR3	107.4613	0.4613

Πίνακας 47 Σύγκριση αποτελεσμάτων πίεση CCDB με την πειραματική τιμή για την μονάδα Kristin

Παρατηρούμε ότι η καλύτερη προσέγγιση γίνεται με το UMR_new και την χρήση του τρίτου χαρακτηρισμού. Αν σκεφτούμε ότι η πειραματική μέτρηση είχε μία απόκλιση ±1bar διαπιστώνουμε ότι η προσέγγιση είναι πολύ καλή.
Εν συνεχεία θα παρουσιαστεί το διάγραμμα φάσεων για το ελαφρύ ρεύμα (Export Gas) με SRK,PR καθώς και με UMR_new με την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού που είχε σε όλα τα μοντέλα τα καλύτερα αποτελέσματα . Το διάγραμμα με όλες τις μεθόδους χαρακτηρισμού και όλα τα μοντέλα θα παρουσιαστεί στο παράρτημα της εργασίας για την μονάδα του Kristin.

[5] *Τα πειραματικά δεδομένα προέρχονται από μετρήσεις της Statoil στο πεδίο της εγκατάστασης*



Διάγραμμα 4 Διάγραμμα Φάσεων ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin (με όλα τα μοντέλα και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού) και σύγκριση με αυτό της Statoil

Αξίζει να τονίσουμε πως το σημείο CCDB (Cricondenbar) της προσομοίωσης της Statoil δεν ταυτίζεται με το πειραματικό σημείο που υπάρχει στον πίνακα. Το σημείο εκείνο δεν το τοποθετήσαμε στο διάγραμμα γιατί πειραματικά μετρήθηκε μόνο η πίεση του CCDB, όχι και η θερμοκρασία.

Γενικώς η επιτυχής πρόβλεψη της πίεσης CCDB είναι τεράστιας βιομηχανικής σημασίας. Αυτό γιατί αν το μοντέλο έχει μεγάλη ακρίβεια στην πρόβλεψη τότε θα είναι εφικτή η μείωση του περιθωρίου σφάλματος με βάση το οποίο θα επιλέγεται η απαιτούμενη πίεση εξόδου του ελαφριού ρεύματος εξόδου της διεργασίας (Export Gas). Δηλαδή αν το μοντέλο εκτιμήσει πχ 110 bar και είναι γνωστό πως το περιθώριο σφάλματός του με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα είναι μικρό, τότε θα επιλεγεί μικρότερη πίεση σε σχέση με κάποιο λιγότερο ασφαλές μοντέλο. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και μεγαλύτερη ροή στην μονάδα του χρόνου μέσα από το δίκτυο αγωγών. Η μεγαλύτερη ροή συνεπάγεται προφανώς μεγαλύτερα κέρδη. Έτσι η ακρίβεια της προδιαγραφής είναι ένα σημείο που πρέπει να τονίζεται για όλα τα μοντέλα.

6.1.5 Επίδραση της μεθόδου χαρακτηρισμού στα αποτελέσματα της προσομοίωσης της μονάδας Kristin

Για να εκτιμηθεί με πιο βάσιμο τρόπο η επίδραση του χαρακτηρισμού στην πρόβλεψη των συστάσεων στα 3 βασικά ρεύματα της διεργασίας υπολογίζουμε κάποιους λόγους σε κάθε ρεύμα. Στα ελαφριά ρεύματα (υγραέρια, ελαφρύ ρεύμα εξόδου πλούσιο σε μεθάνιο) αρκεί να

υπολογίσουμε την προβλεπόμενη σύσταση των ελαφρύτερων συστατικών (έως 5 άτομα άνθρακα) προς τα βαρύτερα συστατικά. Αυτό το πράττουμε στην προσομοίωση που χρησιμοποιούμε ως βάση (αυτή της Statoil) και το συγκρίνουμε με τις προσομοιώσεις μας με SRK, Peng Robinson και με UMR_new.

Για το ρεύμα του συμπυκνώματος ο λόγος που θα υπολογίσουμε θα είναι τα βαρύτερα συστατικά (από 5 άτομα άνθρακα και πάνω) προς τα ελαφρύτερα σε όλες τις προσομοιώσεις.

Με τον υπολογισμό αυτών των λόγων προβλέπουμε πόσο ελαφρύ είναι το ρεύμα (για τα 2 ελαφριά ρεύματα) σε σχέση με την προσομοίωση βάσης και αντίστοιχα πόσο βαρύ είναι το ρεύμα των συμπυκνωμάτων.

Τα αποτελέσματα για το ρεύμα των υγραερίων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Ρεύμα Υγραερίων (Fuel Gas)	C1-5/C6+	% Απόκλιση
STATOIL	253.68	-
SRK1	236.28	-6.86
SRK2	259.39	2.25
SRK3	206.50	-18.60
PR1	207.69	-18.13
PR2	227.77	-10.21
PR3	185.22	-26.99
UMR1	227.64	-10.27
UMR2	252.46	-0.48
UMR3	171.66	-32.34

Πίνακας 48 Αποτέλεσμα σύγκρισης χαρακτηρισμών και μοντέλων για το ρεύμα υγραερίων της μονάδας Kristin

Βλέποντας τα αποτελέσματα για το ρεύμα των υγραερίων παρατηρούμε πως ο δεύτερος χαρακτηρισμός είναι καλύτερος με όλες τις καταστατικές εξισώσεις και πως το UMR_new προβλέπει καλύτερα από όλα τα μοντέλα με την χρήση αυτού του χαρακτηρισμού τα χαρακτηριστικά του ρεύματος.

Ακολουθεί ο αντίστοιχος πίνακας για το ελαφρύ ρεύμα:

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)	C1-5/C6+	% Απόκλιση
STATOIL	262.77	-
SRK1	246.35	-6.25
SRK2	269.94	2.73
SRK3	213.57	-18.72
PR1	216.57	-17.58
PR2	237.06	-9.78

PR3	191.61	-27.08
UMR1	237.11	-9.77
UMR2	262.27	-0.19
UMR3	176.60	-32.79

Πίνακας 49 Αποτέλεσμα σύγκρισης χαρακτηρισμών και μοντέλων για το ελαφρύ ρεύμα της μονάδας Kristin

Τα αποτελέσματα είναι παρεμφερή με αυτά για το ρεύμα των υγραερίων. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η επεξεργασία μετά την έξοδο του ρεύματος των υγραερίων είναι μικρή. Παρατηρούμε και πάλι πως ο δεύτερος χαρακτηρισμός είναι καλύτερος και πως το μοντέλο UMR_new δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα με την χρήση αυτού του χαρακτηρισμού.

Στην συνέχεια ακολουθεί τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το ρεύμα του συμπυκνώματος. Οι λόγοι που υπολογίζονται τώρα είναι το άθροισμα των συστάσεων των βαρύτερων συστατικών (C6+) προς το άθροισμα της σύστασης των ελαφρύτερων συστατικών (C1-5).

Ακολουθεί ο πίνακας των αποτελεσμάτων:

Ρεύμα συμπυκνώματος (Condensate)	C6+/C1-5	% Απόκλιση
STATOIL	6.28	-
SRK1	6.42	2.25
SRK2	6.53	4.03
SRK3	6.35	1.21
PR1	6.16	-1.93
PR2	6.75	7.50
PR3	6.54	4.15
UMR1	6.21	-1.14
UMR2	6.39	1.80
UMR3	6.44	2.56

Πίνακας 50 Αποτέλεσμα σύγκρισης χαρακτηρισμών και μοντέλων για το ρεύμα συμπυκνώματος της μονάδας Kristin

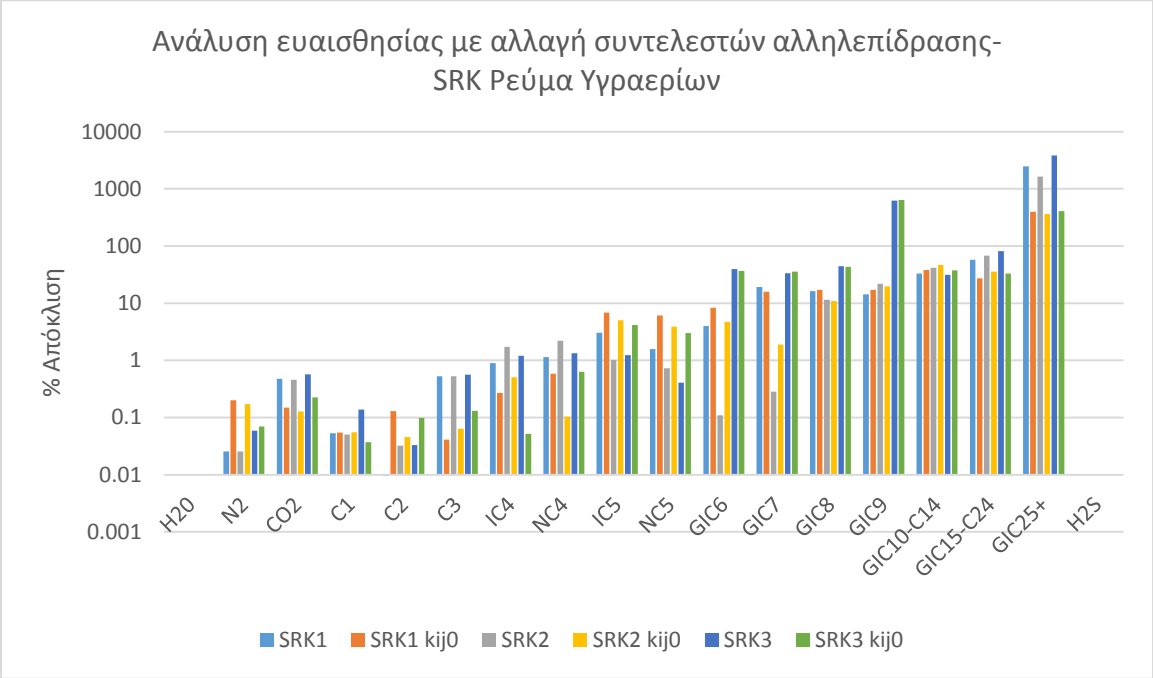
Αναλύοντας τα αποτελέσματα βλέπουμε πως με εξαίρεση την SRK , στα άλλα 2 μοντέλα καλύτερη πρόβλεψη επιτυγχάνεται με τον πρώτο χαρακτηρισμό. Η καλύτερη πρόβλεψη επετεύχθη με το μοντέλο UMR_new και τον πρώτο χαρακτηρισμό.

6.1.6 Ανάλυση ευαισθησίας με μηδενισμό των συντελεστών αλληλεπίδρασης k_{ij} για την μονάδα Kristin

Στο μέρος αυτό θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας που έγινε με μηδενισμό των συντελεστών αλληλεπίδρασης.
Οι αναλυτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων θα παρατεθούν σε υπόμνημα ενώ για μία πιο γρήγορη σύγκριση θα παρουσιαστούν τώρα τα ραβδοδιαγράμματα σφάλματος. Θα

παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για τα βασικά ρεύματα (ρεύμα υγραερίων, ελαφρύ ρεύμα-Export Gas, ρεύμα συμπυκνώματος) καθώς και για τα ρεύματα εμπλουτισμού.

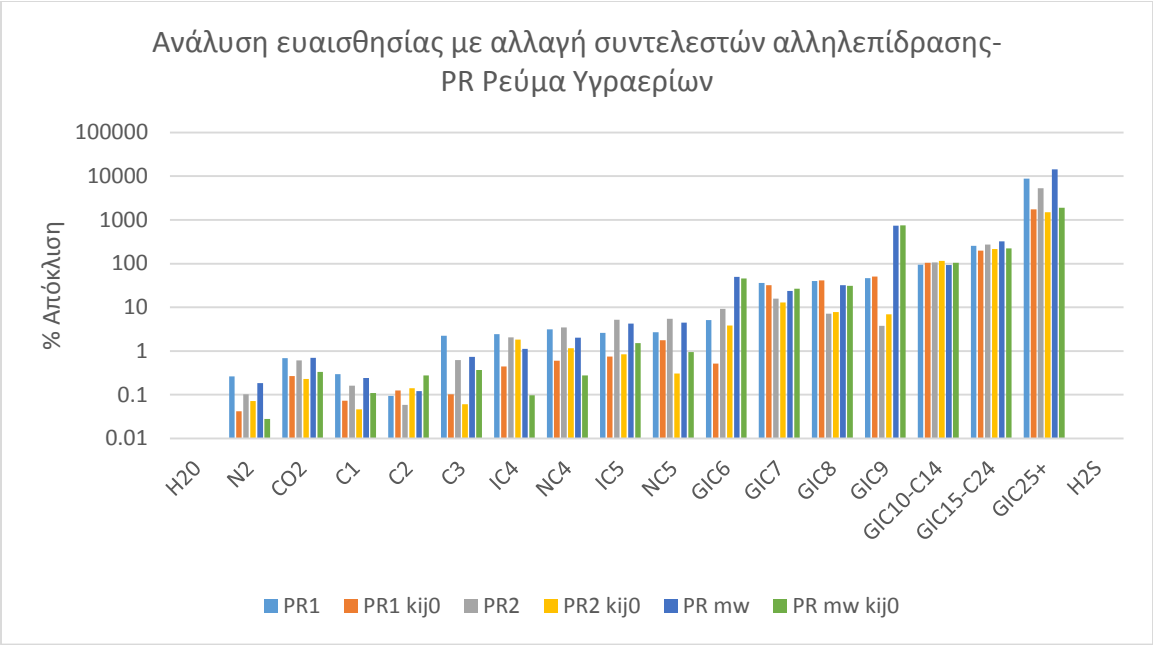
Αρχικά θα παρουσιαστεί το ραβδοδιάγραμμα σφάλματος (σε λογαριθμική κλίμακα) για το ρεύμα υγραερίων με σύγκριση των αποκλίσεων πρίν και μετά την αλλαγή των συντελεστών αλληλεπίδρασης k_{ij} με την καταστατική εξίσωση SRK.



Διάγραμμα 5 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (SRK για το ρεύμα υγραερίων του Kristin)

Παρατηρούμε ότι τα σφάλματα μειώνονται με μηδενισμό των kij σε όλα σχεδόν τα συστατικά. Αυτό είναι λογικό καθώς οι συντελεστές αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση της Statoil ήταν διαφορετικοί από τους default συντελεστές του Hysys. Ακόμα λόγω της παρουσίας αζώτου και διοξειδίου του άνθρακα σε πολύ μικρές ποσότητες δεν κρίνονται απαραίτητοι οι συντελεστές αλληλεπίδρασης. Βέβαια ρόλο στα αποτελέσματα διαδραματίζουν και οι συγκεντρώσεις αυτών (των μη υδρογονανθράκων) που μεγαλώνουν την μη ιδανικότητα.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί το αντίστοιχο διάγραμμα με Peng Robinson.



Διάγραμμα 6 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (PR για το ρεύμα υγραερίων του Kristin)

Τα συμπεράσματα της επίδρασης των kij είναι ίδια με αυτά στο προηγούμενο διάγραμμα.

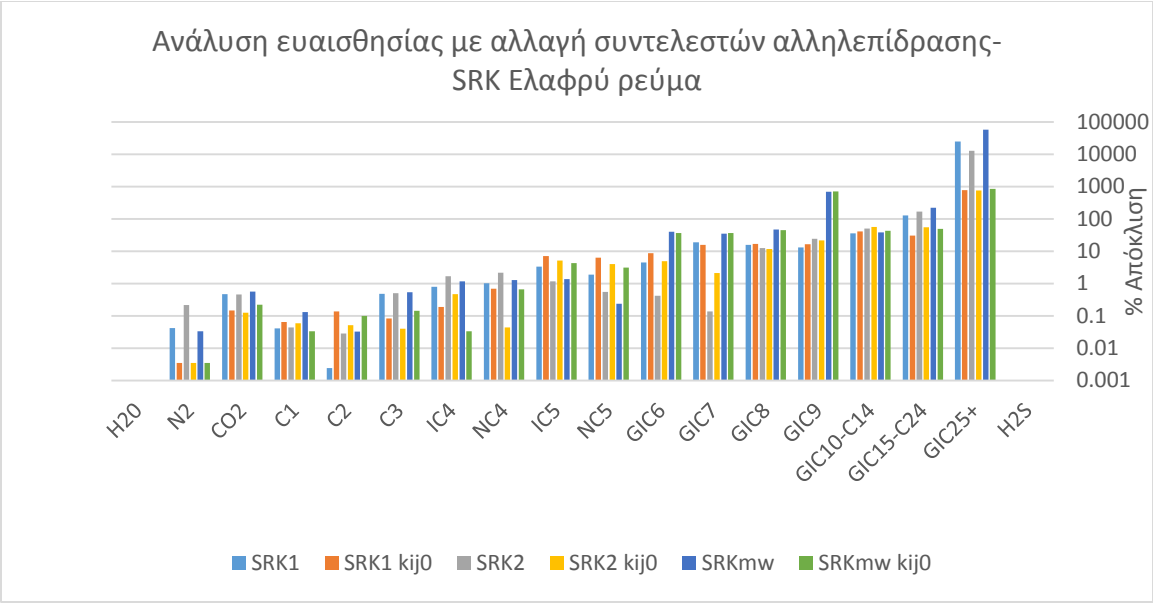
Για να διαπιστωθεί η επίδραση των kij στην πρόβλεψη της φύσης του μίγματος, παρουσιάζονται εκ νέου πίνακες C1-5/C6+ με όλους τους χαρακτηρισμούς και μοντέλα με και χωρίς kij.

Ρεύμα Υγραερίων	C1-5/C6+	% Απόκλιση
STATOIL	253.68	-
SRK1	236.28	-6.86
SRK1 kij0	242.92	-4.24
SRK2	259.39	2.25
SRK2 kij0	266.94	5.23
SRK3	206.50	-18.60
SRK3 kij0	209.25	-17.52
PR1	207.69	-18.13
PR1 kij0	213.11	-16.00
PR2	227.77	-10.21
PR2 kij0	234.84	-7.43
PR3	185.22	-26.99
PR3 kij0	188.43	-25.72

Πίνακας 51 Αποτελέσματα σύγκρισης πρόβλεψης φύσης του ρεύματος υγραερίων της μονάδας Kristin (με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης)

Αυτό που παρατηρούμε από στα αποτελέσματα μετά τον μηδενισμό των kij είναι πως τα σφάλματα μειώνονται (με εξαίρεση την SRK με τον δεύτερο χαρακτηρισμό). Αυτό ήταν κάτι το αναμενόμενο καθώς η προσομοίωση της Statoil δεν είχε πραγματοποιηθεί στο HYSYS αλλά στο PRO/II με διαφορετικούς συντελεστές αλληλεπίδρασης. Ακόμα οι προβλέψεις για μίγματα υδρογονανθράκων (οι συγκεντρώσεις των υπολοίπων συστατικών είναι πολύ μικρές) είναι καλύτερες με μηδενικούς συντελεστές αλληλεπίδρασης.

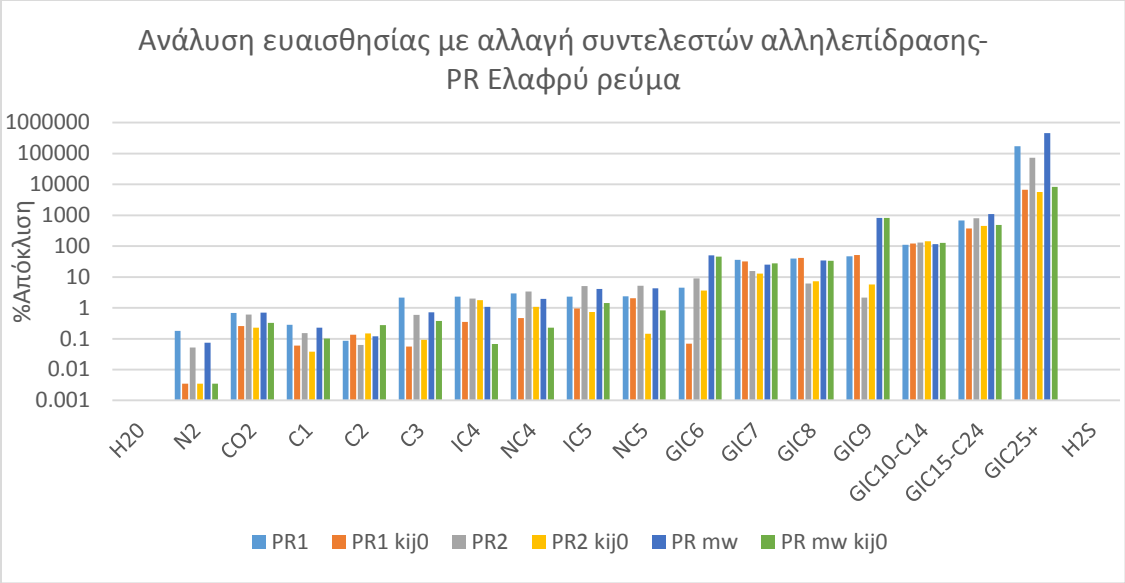
Τώρα θα παρουσιαστεί το διάγραμμα σφαλμάτων για το ελαφρύ ρεύμα της διεργασίας (Export Gas) με SRK με τα defaults και τα μηδενισμένα kij.



Διάγραμμα 7 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (SRK για το ελαφρύ ρεύμα του Kristin)

Οι παρατηρήσεις που έγιναν για την ανάλυση του ρεύματος υγραερίων ισχύουν και στην περίπτωση του ελαφριού ρεύματος εξόδου (Export Gas). Γενικώς και πάλι τα σφάλματα μειώνονται με τον μηδενισμό των k_{ij} όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις που δείξαμε. Είναι λογική η εξέλιξη αυτή καθώς η επεξεργασία του ρεύματος που συνεχίζει από την έξοδο των υγραερίων είναι μικρή άρα και τα αποτελέσματα είναι λογικά παραπλήσια.

Ακολουθεί η σύγκριση των σφαλμάτων της προσομοίωσης με και χωρίς kij για την καταστατική εξίσωση Peng Robinson και το ελαφρύ ρεύμα εξόδου (Export Gas).



Διάγραμμα 8 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (PR για το ελαφρύ ρεύμα του Kristin)

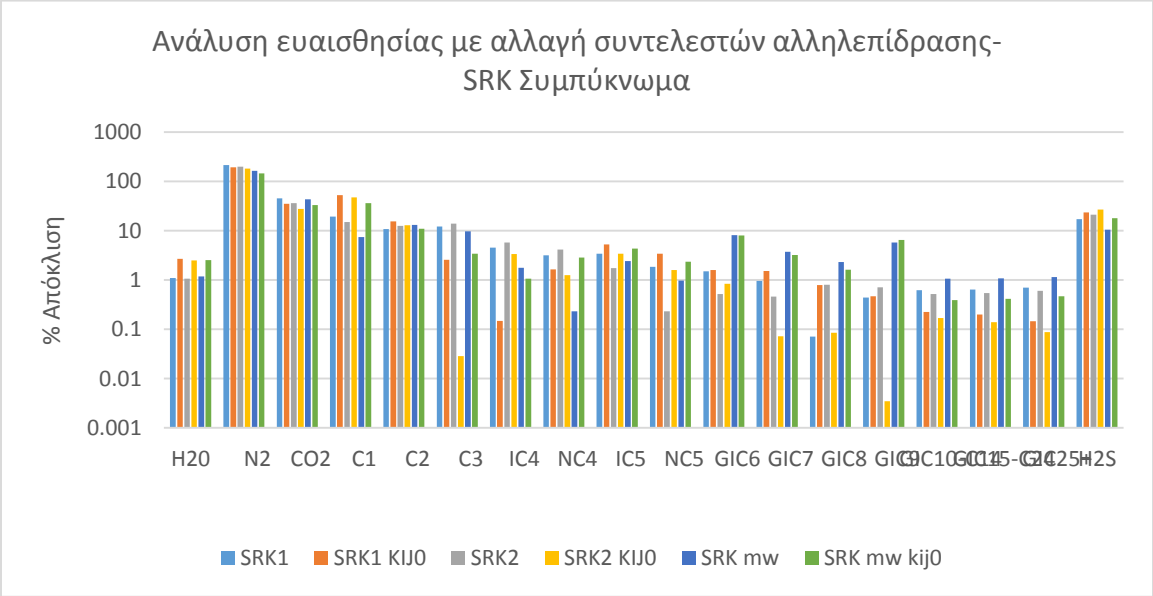
Ακολουθεί ο πίνακας C1-5/C6+ με όλους τους χαρακτηρισμούς και μοντέλα με και χωρίς kij για το ρεύμα Export Gas.

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)	C1-5/C6+	% Απόκλιση
STATOIL	262.77	-
SRK1	246.35	-6.25
SRK1 kij0	252.91	-3.75
SRK2	269.94	2.73
SRK2 kij0	277.48	5.60
SRK3	213.57	-18.72
SRK3 kij0	215.98	-17.81
PR1	216.57	-17.58
PR1 kij0	221.70	-15.63
PR2	237.06	-9.78
PR2 kij0	244.18	-7.08
PR3	191.61	-27.08
PR3 kij0	194.54	-25.97

Πίνακας 52 Αποτελέσματα σύγκρισης πρόβλεψης φύσης του ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin (με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης)

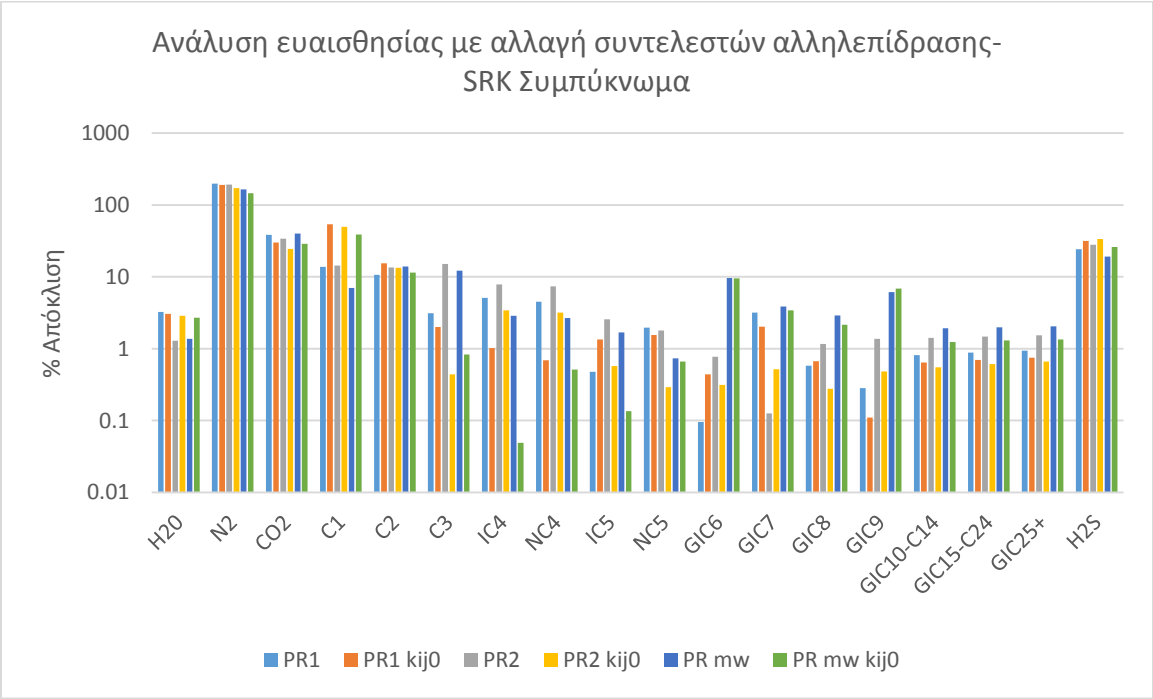
Εκ νέου αυτό που παρατηρούμε είναι πως σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις οι αποκλίσεις μειώνονται με μηδενισμό των k_{ij} (εξαιρείται και πάλι η περίπτωση της SRK με τον δεύτερο χαρακτηρισμό).

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αντίστοιχα διαγράμματα του συμπυκνώματος της διεργασίας με SRK και Peng Robinson.



Διάγραμμα 9 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (SRK για το συμπύκνωμα του Kristin)

Ακολουθεί το ίδιο διάγραμμα για την Peng Robinson:



Διάγραμμα 10 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (PR για το συμπύκνωμα του Kristin)

Τα αποτελέσματα σε ότι αφορά το ρεύμα του συμπυκνώματος είναι παρόμοια και με τις δύο καταστατικές εξισώσεις.

Ακολουθεί ο πίνακας C6+/C1-5 με όλους τους χαρακτηρισμούς και μοντέλα με και χωρίς kij για το ρεύμα Condensate.

Ρεύμα συμπυκνώματος (Condensate)	C6+/C1-5	% Απόκλιση
Statoil	6.28	
SRK1	6.42	2.25
SRK1 kij0	6.04	-3.74
SRK2	6.53	4.03
SRK2 kij0	6.21	-1.03
SRK3	6.35	1.21
SRK3 kij0	6.05	-3.62
PR1	6.16	-1.93
PR1 kij0	6.19	-1.37
PR2	6.75	7.50
PR2 kij0	6.34	1.00
PR3	6.54	4.15
PR3 kij0	6.22	-0.99

Πίνακας 53 Αποτελέσματα σύγκρισης πρόβλεψης φύσης του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin (με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης)

Οι παρατηρήσεις και για το ρεύμα του βαριού συμπυκνώματος είναι παρόμοιες. Εκ νέου παρατηρούμε ελάττωση των σφαλμάτων (και στα μόρια του νερού, του αζώτου και του υδροθείου που δεν εξετάζονται σε αυτόν τον πίνακα). Εξαίρεση αποτελεί η προσομοίωση με SRK και μηδενικά kij με χρήση του δεύτερου χαρακτηρισμού.

Στην συνέχεια θα παρουσιασθούν πίνακες που θα δείχνουν την σύγκριση των αποτελεσμάτων με συντελεστές αλληλεπίδρασης καθώς και με μηδενικούς συντελεστές αλληλεπίδρασης για τα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος καθώς και του συμπυκνώματος. Οι αναλυτικοί πίνακες θα παρουσιασθούν σε παράρτημα ενώ εδώ θα δείξουμε την διαφορά των σταθμικών μέσων απόκλισης για τα ρεύματα εμπλουτισμού με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης.

Αρχικά θα παρουσιασθούν οι διαφορές που καταγράφηκαν στα ρεύματα εμπλουτισμού του συμπυκνώματος:

Σταθμικός μέσος των σφαλμάτων	Ρεύμα 40	Ρεύμα 10	Ρεύμα 45	Ρεύμα 44	Μέσος Όρος
SRK1	4.53	4.11	4.23	7.25	5.03
SRK1 kij0	4.14	5.73	7.69	10.47	7.01
SRK2	6.64	5.09	3.88	8.22	5.96
SRK2 kij0	10.88	6.30	7.03	8.22	8.11
SRK3	17.17	37.42	10.07	12.71	19.34
SRK3 kij0	17.05	49.60	8.16	11.25	21.52

PR1	3.22	3.69	4.42	8.19	4.88
PR1 kij0	4.74	6.91	8.22	15.77	8.91
PR2	6.08	4.25	3.95	8.34	5.65
PR2 kij0	11.64	6.54	7.79	11.90	9.47
PR3	16.81	41.52	10.69	13.39	20.60
PR3 kij0	16.42	56.94	9.21	12.07	23.66

Πίνακας 54 Σύγκριση σταθμικών σφαλμάτων για τα ρεύματα εμπλουτισμού του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin (με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης)

Παρατηρούμε πως γενικά στα περισσότερα ρεύματα οι προσομοιώσεις με μηδενικά kij έχουν μεγαλύτερες αποκλίσεις σε σχέση με τις άλλες προσομοιώσεις.

Ακολουθεί ο αντίστοιχος πίνακας για τα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος που μελετήθηκαν:

Σταθμικός μέσος των σφαλμάτων	Ρεύμα 3	Ρεύμα 19	Ρεύμα 24	Μέσος Όρος
SRK1	0.43	2.79	6.10	3.11
SRK1 kij0	0.62	4.71	7.35	4.23
SRK2	0.24	3.21	7.49	3.64
SRK2 kij0	0.86	5.12	8.86	4.95
SRK3	1.04	3.86	12.34	5.75
SRK3 kij0	1.16	5.53	13.35	6.68
PR1	0.95	3.10	6.86	3.64
PR1 kij0	0.36	5.20	8.18	4.58
PR2	0.57	3.49	7.41	3.82
PR2 kij0	0.47	5.62	9.54	5.21
PR3	1.49	4.33	12.82	6.21
PR3 kij0	0.98	6.21	14.84	7.34

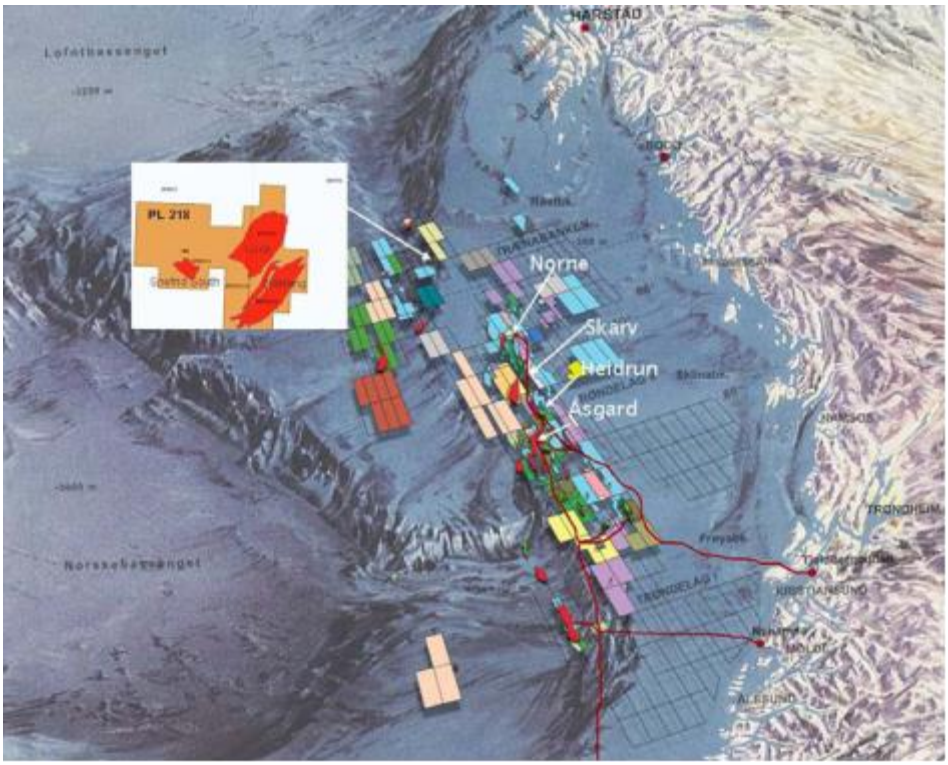
Πίνακας 55 Σύγκριση σταθμικών σφαλμάτων για τα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin (με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης)

Παρατηρούμε και πάλι πως η γενικότερη τάση είναι οι προσομοιώσεις με μηδενικά kij και οποιοδήποτε μοντέλο ανάμεσα σε Peng Robinson και SRK να αποκλίνουν ελαφρώς περισσότερο από τις προσομοιώσεις με τους default συντελεστές αλληλεπίδρασης του Hysys. Στην περίπτωση αυτών των ρευμάτων γενικώς οι συγκεντρώσεις των μη υδρογονανθράκων (νερό, υδρόθειο ,διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο) είναι μεγάλες και δεν έχουν μειωθεί στα πολύ χαμηλά επίπεδα των βασικών ρευμάτων. Έτσι οι προσομοιώσεις με συντελεστές αλληλεπίδρασης δίνουν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με αυτές που οι συντελεστές θεωρήθηκαν μηδενικοί.

7 Εισαγωγικά στοιχεία για το Aasta Hansteen

Στο Aasta Hansteen που βρίσκεται 300 km από τις ακτές της Νορβηγίας υπάρχουν τρία κοιτάσματα : το Luva , το Haklang και το Snefrid. Πρόκειται για πλωτή μονάδα επεξεργασίας με στόχο τον διαχωρισμό του rich gas (μίγμα πλούσιο σε μεθάνιο) από το condensate (συμπύκνωμα) του κοιτάσματος. Λαμβάνουν χώρα διεργασίες όπως dehydration (απομάκρυνση νερού), hydrocarbon dew pointing (έλεγχος σημείο δρόσου υδρογονανθράκων) και export compression (συμπίεση του αερίου εξόδου). Μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων οδηγείται στην συνέχεια το πλούσιο σε μεθάνιο μίγμα στην περιοχή Nyhamna περίπου 500 km από την περιοχή του Aasta Hansteen.

Η παρακάτω εικόνα αποτυπώνει την περιοχή του Aasta Hansteen και αντίστοιχα τις γειτονικές περιοχές μαζί με τα ευρήματά τους.



Εικόνα 15 Περιοχή Aasta Hansteen και γειτονικά κοιτάσματα

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν εν συντομία οι προδιαγραφές που τέθηκαν από την Statoil για την λειτουργία της μονάδας του Aasta Hansteen που θα μελετηθούν και στα πλαίσια της παρούσας έρευνας:

Αρχικά θα παρουσιαστούν κάποιες προδιαγραφές για το ρεύμα Export Gas (δηλαδή το ελαφρύ προϊόν της διεργασίας) :

Προδιαγραφές Ελαφριού Ρεύματος της Διεργασίας του Aasta Hansteen	
Περιγραφή	Προδιαγραφή
Σημείο δρόσου υδρογονανθράκων (Hydrocarbon Dew Point)[6]	Μονοφασικό πάνω από 0 °C και 110 barg
Σημείο δρόσου ένυδρου μίγματος (Water Dew Point)[7]	-18 °C στα 69 barg
Περιεκτικότητα σε Διοξείδιο του Άνθρακα (Carbon Dioxide)	< 2.50 mole%

Πίνακας 56 Προδιαγραφές Ελαφριού Ρεύματος της Διεργασίας του Aasta Hansteen

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποιες προδιαγραφές που έθεσε η εταιρεία για το ρεύμα του συμπυκνώματος:

Προδιαγραφές Συμπυκνώματος της διεργασίας (Condensate)	
Περιγραφή	Προδιαγραφή
Περιεκτικότητα ελαφρύτερων συστατικών (συστατικά με λιγότερα από 4 άτομα άνθρακα)$C4^-$	< 2.5 κατά βάρος%

Πίνακας 57 Προδιαγραφές Συμπυκνώματος της διεργασίας (Condensate)

Ακόμα σχετικά με την παραγωγή και το προβλεπόμενο διάστημα εκμετάλλευσης καθώς και τις αναμενόμενες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας του κοιτάσματος και της πρώτης βαθμίδας διαχωρισμού έχουν υπολογιστεί τα παρακάτω:

	Αρχική Παραγωγή	Παραγωγή στο σημείο πλατό	Παραγωγή στο τελικό στάδιο
Περίοδος (έτος)	Τέλος του 2016	2017 - 2021	2022 - 2024
Πίεση τροφοδοσίας (Luva / Haklang & Snefrid), barg	230 / 250	90 / 90	75 / 75
Θερμοκρασία τροφοδοσίας (χωρίς υποθαλάσσια επεξεργασία) (Luva / Haklang & Snefrid), °C	51.1 ± 5 / 52.9 ± 5	46.2 ± 5 / 50.6 ± 5	27.4 ± 5 / 32.2 ± 5
Θερμοκρασία τροφοδοσίας (με την μέγιστη υποθαλάσσια επεξεργασία) (Luva / Haklang & Snefrid), °C	26 ± 5 / 28.8 ± 5	32.3 ± 5 / 45.3 ± 5	Άγνωστη
Πίεση κοιτάσματος (Luva / Haklang / Snefrid), bara	321 / 338 / 284	250 / 260	250 / 260

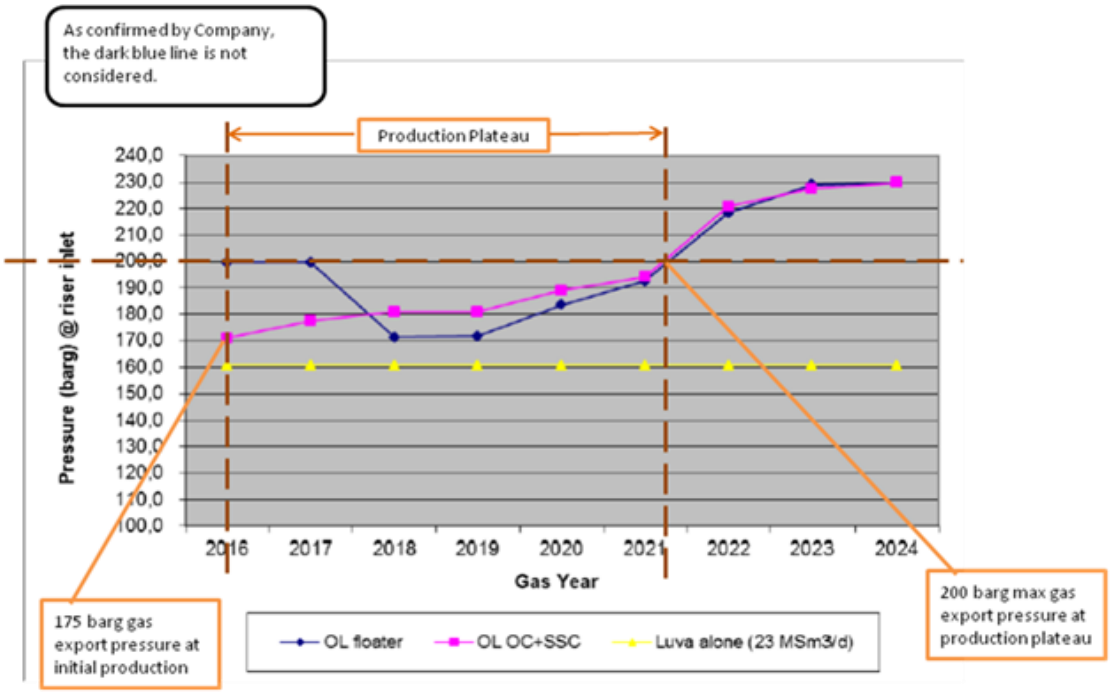
[6] *Πρόκειται για την θερμοκρασία σε δεδομένη πίεση στην οποία οι υδρογονάνθρακες του μίγματος θα αρχίσουν να συμπυκνώνονται από την αέρια φάση.*

[7] *Πρόκειται για την θερμοκρασία σε δεδομένη πίεση στην οποία ο υδρατμός που περιέχεται σε ένα αέριο μίγμα θα αρχίσει να συμπυκνώνεται από την αέρια φάση.*

Θερμοκρασία κοιτάσματος (Luva / Haklang / Snefrid), °C	78 / 86 / 61	78 / 86 / 61	78 / 86 / 61
Πίεση λειτουργίας πρώτου σταδίου διαχωρισμού Pressure, barg	85	85	70

Πίνακας 58 Συνθήκες παραγωγής ανά διάστημα εκμετάλλευσης στην μονάδα του Aasta Hansteen

Τέλος για το ελαφρύ ρεύμα της διεργασίας (Export Gas) έχει υπολογιστεί η απαιτούμενη πίεση εξόδου σε τουλάχιστον 160 bar, ενώ διαφέρει ανάλογα με την φάση παραγωγής (initial, plateau, tail end). Το ακόλουθο διάγραμμα δείχνει τις μεταβολές της πίεσης ανάλογα με την φάση παραγωγής:



Διάγραμμα 11 Μεταβολές στην πίεση ανάλογα την φάση παραγωγής στην μονάδα του Aasta Hansteen

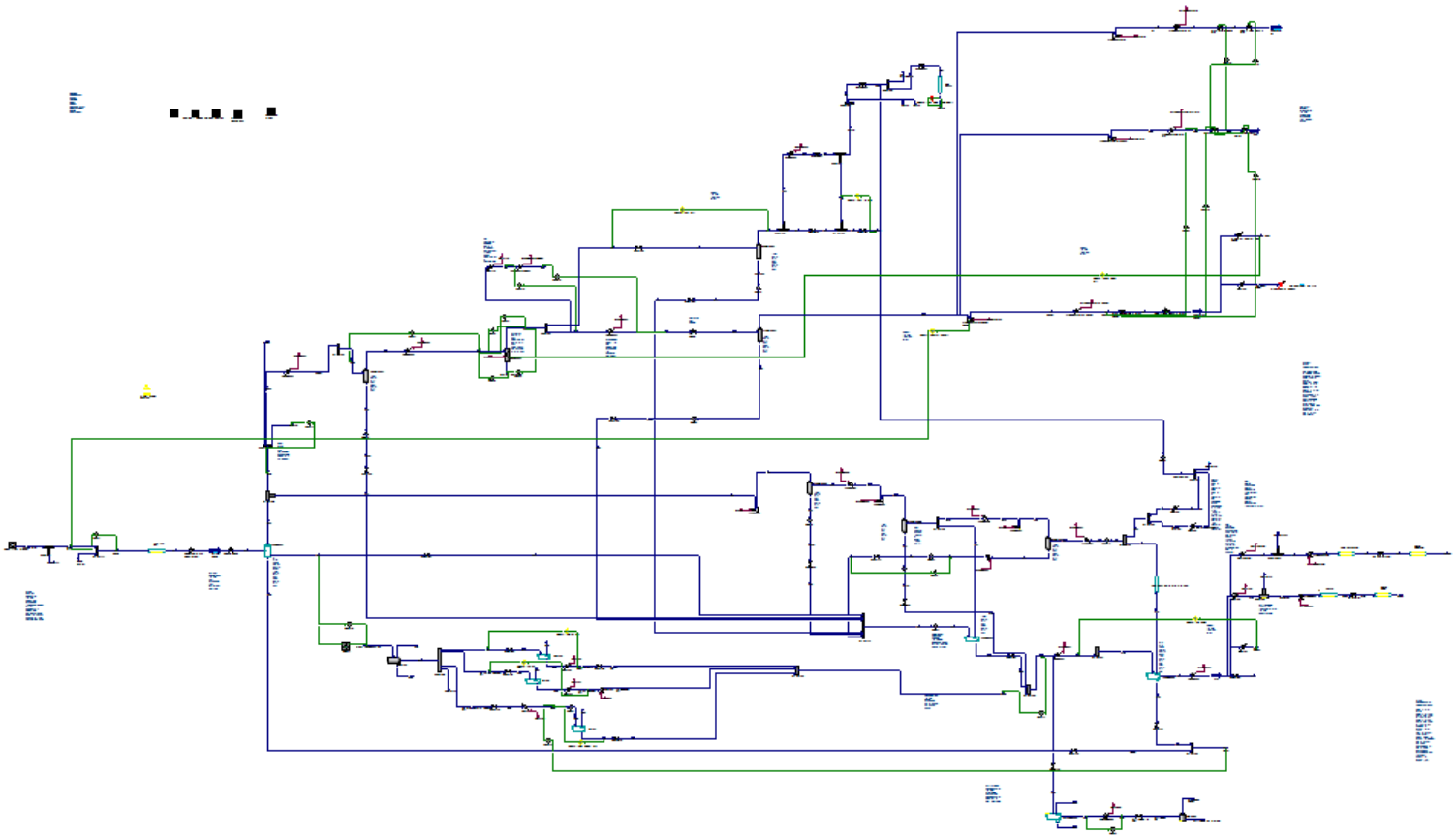
8 Περιγραφή της διεργασίας του Aasta Hansteen

Η διεργασία επεξεργασίας μπορεί να χωριστεί σε 3 επιμέρους: σταθεροποίηση του συμπυκνώματος(Condensate Stabilization), διεργασία ανασυμπίεσης (Recompression System) ,διεργασία απομάκρυνσης νερού και ρύθμισης του σημείου δρόσου υδρογονανθράκων (Gas Dehydration/Hydrocarbon Dew Point) και διεργασία συμπίεσης του μίγματος εξόδου (Export Compression).

Στην πρώτη φάση σε ότι αφορά την σταθεροποίηση συμπυκνώματος φυσικού αερίου έχει 3 στάδια διαχωρισμού και ο στόχος είναι η απομάκρυνση του νερού καθώς και η επίτευξη των προδιαγραφών TVP (True Vapor Pressure) καθώς και RVP (Reid Vapor Pressure).

Στο κομμάτι της ανασυμπίεσης πάλι χωρίζεται σε 3 στάδια. Εκεί οδηγούνται τα ρεύματα ατμών από την διεργασία σταθεροποίησης του συμπυκνώματος (Condensate Stabilization) με στόχο τον επιπλέον διαχωρισμό σε αυτά ώστε στην συνέχεια να ανακυκλωθούν τα βαρύτερα συστατικά και να καταλήξουν για συμπύκνωμα ενώ τα ελαφρύτερα απαλλαγμένα πλέον από προσμίξεις οδηγούνται στο κομμάτι της απομάκρυνσης του νερού και της ρύθμισης του σημείου δρόσου (Gas Dehydration/Hydrocarbon Dew Point).
Στην τρίτη φάση πλέον μέσα από διαχωριστήρες/εναλλάκτες θερμότητας και συμπιεστές γίνεται η επίτευξη των προδιαγραφών που αναφέραμε και πρίν ώστε το ελαφρύ ρεύμα εξόδου (Export Gas) να καταλήξει στο δίκτυο μεταφοράς με συγκεκριμένη σύσταση και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.
Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί το διάγραμμα ροής από το Aspen Hysys της σχεδιαστικής προσομοίωσης της μονάδας του Aasta Hansteen από την Statoil.

Εικόνα 16 Διάγραμμα Ροής της διεργασίας του Aasta Hansteen (λεπτομερής απεικόνιση στο Aspen HYSYS)

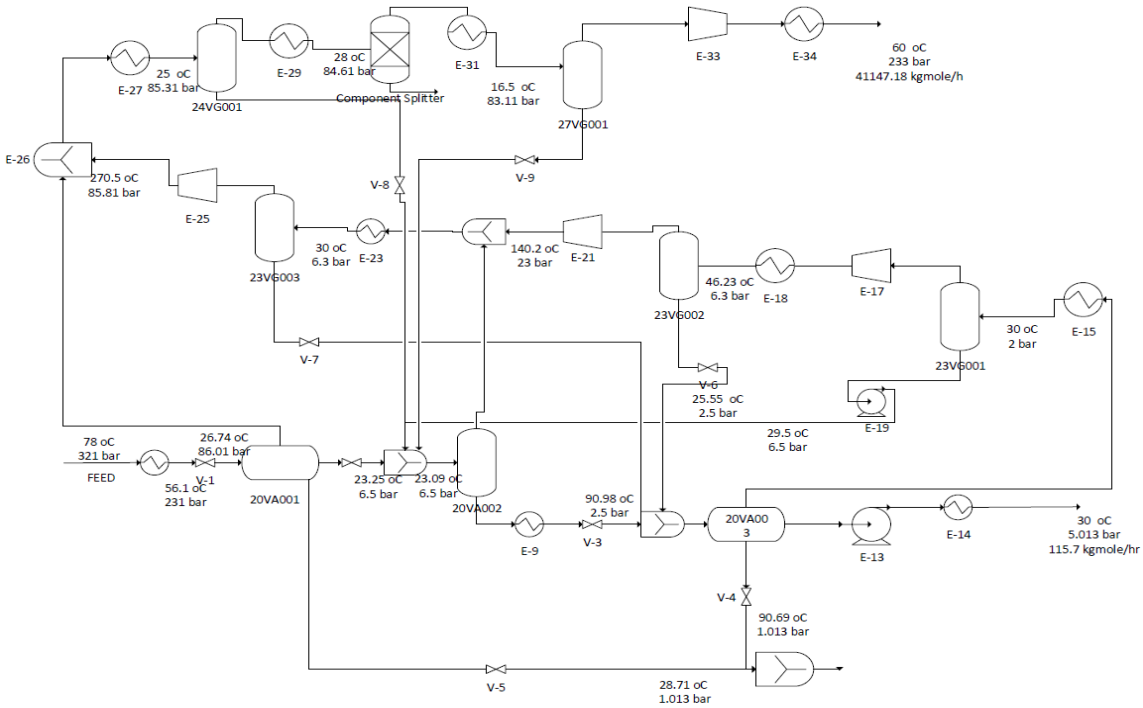


8.1 Απλοποίηση του διαγράμματος ροής της διεργασίας του Aasta Hansteen

Το πιο πάνω διάγραμμα ροής είναι τυπικό της πολυπλοκότητας της προσομοίωσης. Επίσης συμπεριλαμβάνει και Controller blocks (ρυθμιστικές μονάδες) για να γίνει πέραν της προσομοίωσης σε μόνιμη κατάσταση και δυναμική προσομοίωση. Επειδή όμως μέσω του πλαισίου Cape Open που χρησιμοποιείται για την ενσωμάτωση του μοντέλου της UMR_new στο Hysys δεν επιτρέπεται η επίλυση τέτοιων μονάδων, καθώς επίσης και η έκταση και λεπτομέρεια της προσομοίωσης καθιστά δύσκολη την σύγκλιση με το UMR θα επιχειρηθεί η απλοποίηση της προσομοίωσης χωρίς όμως την αλλοίωση των αποτελεσμάτων αυτής.

Στην συνέχεια θα συγκριθούν τα αποτελέσματα αυτής της απλοποιημένης εκδοχής χρησιμοποιώντας την ίδια καταστατική εξίσωση με αυτήν της προσομοίωσης της Statoil δηλαδή την SRK.

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται το απλοποιημένο διάγραμμα ροής για την διεργασία του Aasta Hansteen όπως σχεδιάστηκε από εμάς:



Εικόνα 17 Απλοποιημένη μορφή του διαγράμματος ροής του Aasta Hansteen (με σημειωμένες τις λειτουργικές συνθήκες)

8.2 Βήματα δημιουργίας της απλοποιημένης προσομοίωσης και σύγκριση με την αρχική

Όπως και η προσομοίωση της μονάδας Kristin έτσι και αυτή του Aasta Hansteen δημιουργήθηκε στο Aspen Hysys (version 8.6). Έγινε χρήση 3 καταστατικών εξισώσεων (SRK, Peng Robinson και UMR_new). Αρχικά θα αναλυθεί ο τρόπος δημιουργίας της απλοποιημένης προσομοίωσης και θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των βασικών ρευμάτων (ελαφρύ ρεύμα/export gas και ρεύμα συμπυκνώματος/condensate) ώστε να διαπιστωθεί η επιτυχία της απλοποίησης και στην συνέχεια θα πραγματοποιηθεί ο χαρακτηρισμός του βαριού κλάσματος και οι προσομοιώσεις με SRK,PR και UMR_new.

8.2.1 Άντληση λειτουργικών και σχεδιαστικών παραμέτρων για την μονάδα του Aasta Hansteen

Για να σχεδιαστεί η προσομοίωση αντλούνται λειτουργικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά (πιέσεις, θερμοκρασίες, πτώσεις πίεσης, βαθμοί αποτελεσματικότητας αντλιών/συμπιεστών αλλά και water carry-over δηλαδή το ποσοστό του νερού σε έναν διαχωρισμό εκτόνωσης (flash) που δεν θα καταλήξει στην υδατική φάση και θα διαχωριστεί αλλά θα προχωρήσει στην επόμενη βαθμίδα διαχωρισμού).

Αυτά τα δεδομένα αντλούνται και από την σχεδιαστική προσομοίωση (base case) στο Aspen Hysys αλλά και από την αναφορά που είχε συνταχθεί από την Statoil για την προσομοίωση της εγκατάστασης.

Τα σημεία της προσομοίωσης που παραλείπονται έχουν να κάνουν κυρίως με αυτά που αφορούν την δυναμική προσομοίωση (dynamic simulation) που δεν αφορούν την παρούσα μελέτη.

8.2.2 Δημιουργία Λίστας Συστατικών (Component List) της προσομοίωσης του Aasta Hansteen

Το Hysys όπως έχει προαναφερθεί διαθέτει μία μεγάλη βάση δεδομένων συστατικών. Από εκεί επιλέγουμε τα συστατικά που περιέχονται στο ρεύμα τροφοδοσίας της μονάδας. Αυτά τα βρίσκουμε από την προσομοίωση της Statoil και την αντίστοιχη αναφορά που έχει συνταχθεί και είναι τα ακόλουθα:

Αύξων αριθμός συστατικών	Όνομα Συστατικού
1	H20
2	Nitrogen
3	CO2
4	Methane
5	Ethane
6	Propane
7	i-Butane
8	n-Butane

9	i-Pentane
10	n-Pentane
11	LuvaC6
12	Benzene
13	Toluene
14	E-Benzene
15	LuvaC7
16	LuvaC8
17	LuvaC9
18	LuvaC10-C11
19	LuvaC12
20	LuvaC13
21	LuvaC14
22	LuvaC15
23	LuvaC16-C17
24	LuvaC18-C19
25	LuvaC20-C23
26	LuvaC24-C49

Πίνακας 59 Συστατικά μείγματος τροφοδοσίας μονάδας Aasta Hansteen

Τα συστατικά που αρχίζουν με το πρόθεμα Luva είναι ψευδοσυστατικά τα οποία πρέπει να δηλωθούν στο Hysys. Οι ιδιότητες αυτών των ψευδοσυστατικών όπως αντλήθηκαν από την προσομοίωση της Statoil συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα:

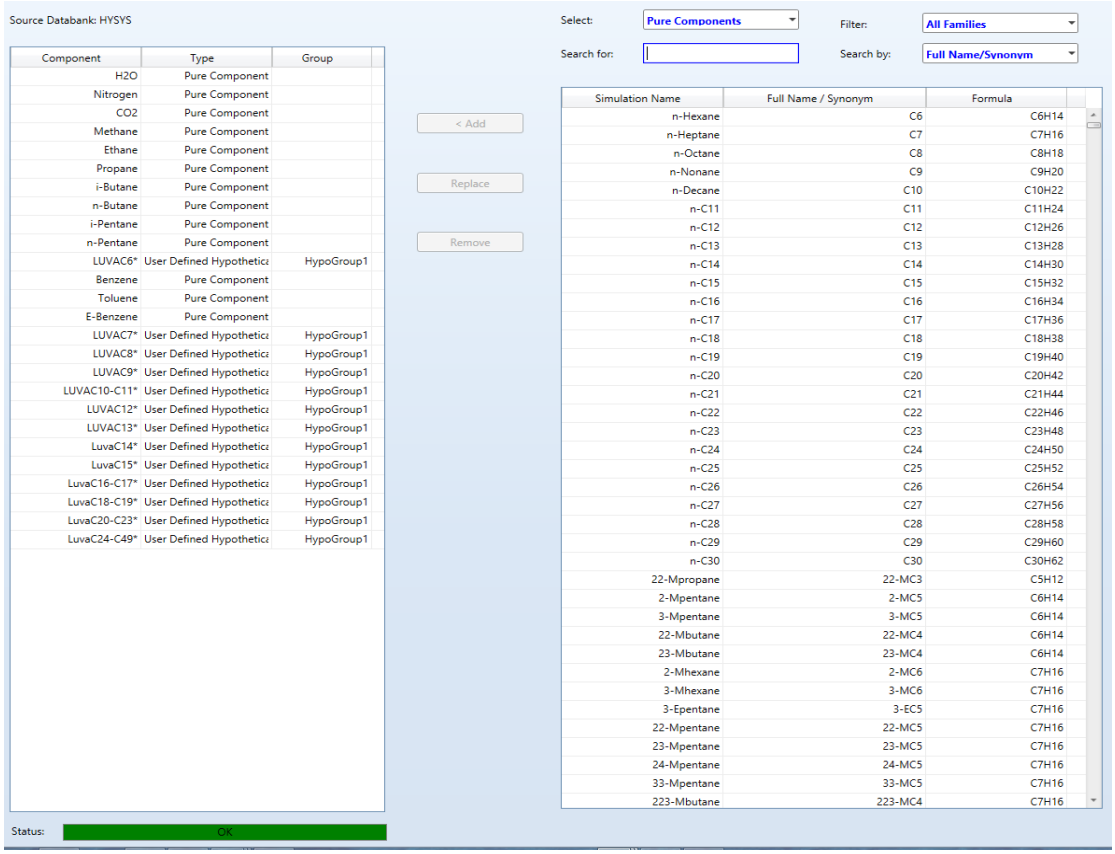
Ονομασία Ψευδοσυστατικού	Κανονικό σημείο βρασμού (K)	Μοριακό Βάρος	Πυκνότητα υγρής φάσης (gr/ml)
LuvaC6*	341.900	86.178	0.664
LuvaC7*	365.126	96.000	0.738
LuvaC8*	389.969	107.000	0.765
LuvaC9*	415.471	121.000	0.781
LuvaC10-C11*	448.633	139.556	0.794
LuvaC12*	481.500	161.000	0.810
LuvaC13*	500.400	175.000	0.825
LuvaC14*	519.600	190.000	0.836
LuvaC15*	539.000	206.000	0.842
LuvaC16-C17*	563.954	228.775	0.847
LuvaC18-C19*	590.857	255.723	0.852
LuvaC20-C23*	626.569	292.695	0.869
LuvaC24-C49*	707.794	394.098	0.899

Πίνακας 60 Ιδιότητες ψευδοσυστατικών μονάδας Aasta Hansteen

Αξίζει να τονίσουμε πως το κανονικό σημείο βρασμού, το μοριακό βάρος καθώς και η πυκνότητα υγρής φάσης των ψευδοσυστατικών Luva προέρχεται από την σχεδιαστική προσομοίωση της Statoil.

Σε επόμενο μέρος θα αναλυθεί ο τρόπος αντιστοίχισης των ψευδοσυστατικών με πραγματικά συστατικά αφού όμως παρουσιαστούν πρώτα τα αποτελέσματα και η σύγκριση της απλοποιημένης εκδοχής με την χρήση των ψευδοσυστατικών.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται εν συντομία η λίστα με τα συστατικά όπως αποτυπώνεται στο Hysys καθώς και ο τρόπος δημιουργίας ενός ψευδοσυστατικού:

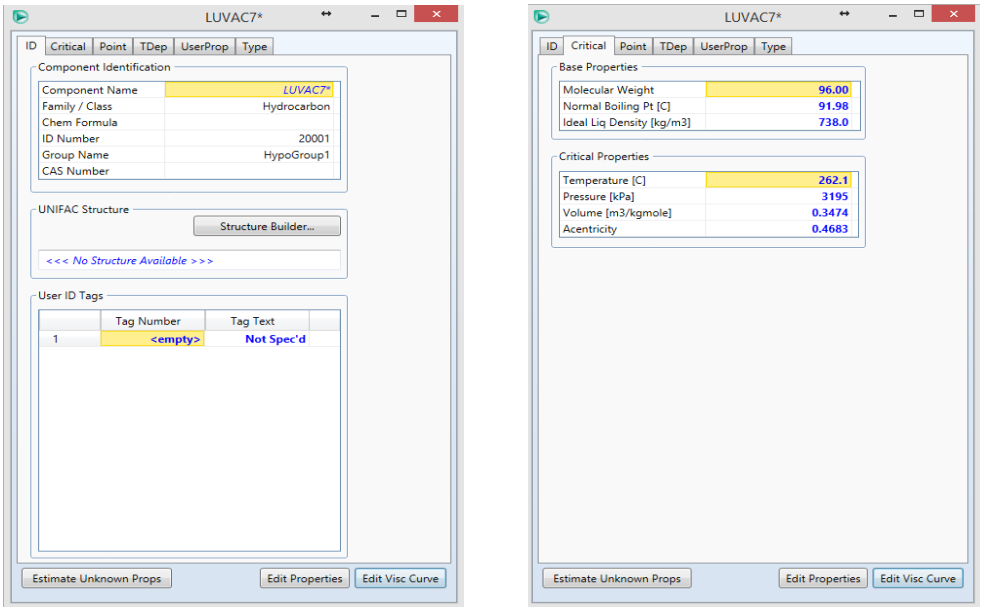


Component	Type	Group
H2O	Pure Component	
Nitrogen	Pure Component	
CO2	Pure Component	
Methane	Pure Component	
Ethane	Pure Component	
Propane	Pure Component	
i-Butane	Pure Component	
n-Butane	Pure Component	
i-Pentane	Pure Component	
n-Pentane	Pure Component	
LUVAC6*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
Benzene	Pure Component	
Toluene	Pure Component	
E-Benzene	Pure Component	
LUVAC7*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LUVAC8*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LUVAC9*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LUVAC10-C11*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LUVAC12*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LUVAC13*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LuvaC14*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LuvaC15*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LuvaC16-C17*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LuvaC18-C19*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LuvaC20-C23*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1
LuvaC24-C49*	User Defined Hypothetica	HypoGroup1

Simulation Name	Full Name / Synonym	Formula
n-Hexane	C6	C6H14
n-Heptane	C7	C7H16
n-Octane	C8	C8H18
n-Nonane	C9	C9H20
n-Decane	C10	C10H22
n-C11	C11	C11H24
n-C12	C12	C12H26
n-C13	C13	C13H28
n-C14	C14	C14H30
n-C15	C15	C15H32
n-C16	C16	C16H34
n-C17	C17	C17H36
n-C18	C18	C18H38
n-C19	C19	C19H40
n-C20	C20	C20H42
n-C21	C21	C21H44
n-C22	C22	C22H46
n-C23	C23	C23H48
n-C24	C24	C24H50
n-C25	C25	C25H52
n-C26	C26	C26H54
n-C27	C27	C27H56
n-C28	C28	C28H58
n-C29	C29	C29H60
n-C30	C30	C30H62
22-Mpropane	22-MC3	C5H12
2-Mpentane	2-MC5	C6H14
3-Mpentane	3-MC5	C6H14
22-Mbutane	22-MC4	C6H14
23-Mbutane	23-MC4	C6H14
2-Mhexane	2-MC6	C7H16
3-Mhexane	3-MC6	C7H16
3-Epentane	3-EC5	C7H16
22-Mpentane	22-MC5	C7H16
23-Mpentane	23-MC5	C7H16
24-Mpentane	24-MC5	C7H16
33-Mpentane	33-MC5	C7H16
223-Mbutane	223-MC4	C7H16

Εικόνα 18 Δήλωση συστατικών στο Aspen HYSYS για την μονάδα Aasta Hansteen

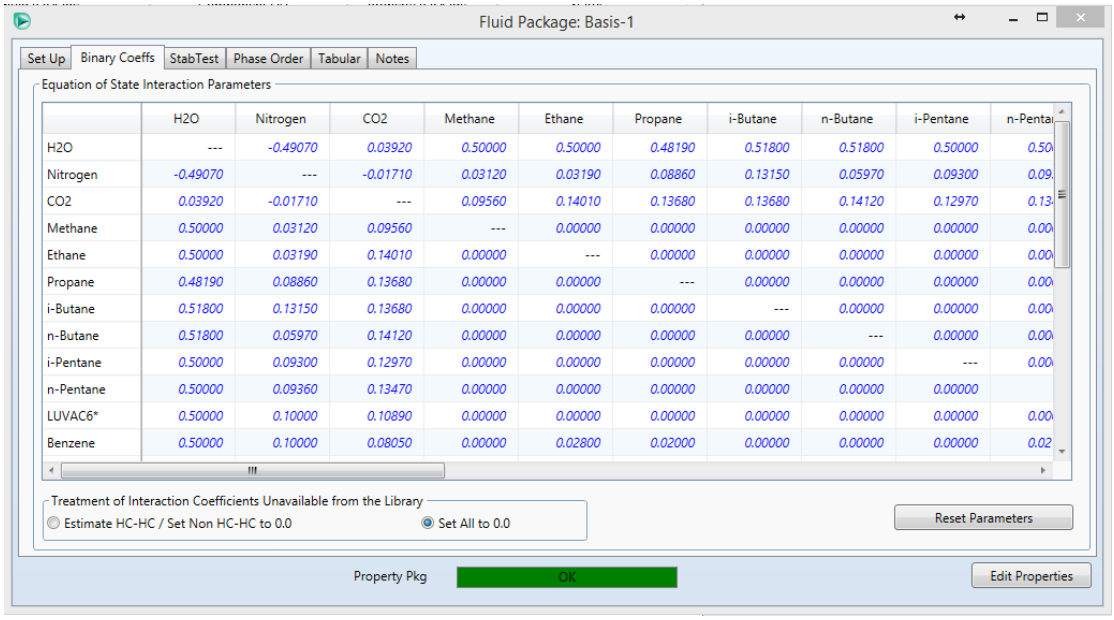
Στην συνέχεια ακολουθεί το μενού δήλωσης των ιδιοτήτων των ψευδοσυστατικών στο HYSYS:



Εικόνα 19 Μενού δήλωσης ιδιοτήτων συστατικών στο Aspen HYSYS

8.2.3 Επιλογή Καταστατικής Εξίσωσης (Fluid Package) για την μονάδα του Aasta Hansteen

Όπως προείπαμε η καταστατική εξίσωση που θα επιλεγεί σε αυτό το στάδιο της δοκιμής και σύγκρισης είναι η SRK, για την οποία θα χρησιμοποιήσουμε τους ίδιους συντελεστές αλληλεπίδρασης με την προσομοίωση της Statoil (σε αυτή την φάση). Έχει επιλεγεί όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα να υποτεθούν μηδενικοί συντελεστές αλληλεπίδρασης και όχι να εκτιμηθούν σε ότι αφορά όσους συντελεστές είναι μη διαθέσιμοι στην βιβλιοθήκη του λογισμικού:



	H2O	Nitrogen	CO2	Methane	Ethane	Propane	i-Butane	n-Butane	i-Pentane	n-Pentan
H2O	---	-0.49070	0.03920	0.50000	0.50000	0.48190	0.51800	0.51800	0.50000	0.50
Nitrogen	-0.49070	---	-0.01710	0.03120	0.03190	0.08860	0.13150	0.05970	0.09300	0.09
CO2	0.03920	-0.01710	---	0.09560	0.14010	0.13680	0.13680	0.14120	0.12970	0.13
Methane	0.50000	0.03120	0.09560	---	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00
Ethane	0.50000	0.03190	0.14010	0.00000	---	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00
Propane	0.48190	0.08860	0.13680	0.00000	0.00000	---	0.00000	0.00000	0.00000	0.00
i-Butane	0.51800	0.13150	0.13680	0.00000	0.00000	0.00000	---	0.00000	0.00000	0.00
n-Butane	0.51800	0.05970	0.14120	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	---	0.00000	0.00
i-Pentane	0.50000	0.09300	0.12970	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	---	0.00
n-Pentane	0.50000	0.09360	0.13470	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
LUVAC6*	0.50000	0.10000	0.10890	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00
Benzene	0.50000	0.10000	0.08050	0.00000	0.02800	0.02000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02

Εικόνα 20 Επιλογή μηδενικών συντελεστών αλληλεπίδρασης για την προσομοίωση με τα ψευδοσυστατικά στην μονάδα του Aasta Hansteen

8.2.4 Δημιουργία διαγράμματος ροής (Simulation Environment) για την μονάδα του Aasta Hansteen

Στο βήμα αυτό γίνεται προσθήκη των ρευμάτων και των στοιχείων μηχανολογικού εξοπλισμού (δοχεία εκτόνωσης, βαλβίδες, ψυκτήρες, θερμαντήρες, συμπιεστές). Σε βασικά ρεύματα και στοιχεία εξοπλισμού δίνονται ίδια ονόματα με αυτά του διαγράμματος ροής που μας δόθηκε. Εισάγονται επίσης οι συγκεντρώσεις, γραμμομοριακές ροές, θερμοκρασίες, πιέσεις όπου είναι απαραίτητο για να είναι επαρκή τα δεδομένα ώστε να ολοκληρωθεί η προσομοίωση.
Κάποια σύντομα χαρακτηριστικά του διαγράμματος ροής συγκεντρώνονται στους ακόλουθους πίνακες:

Μονάδες διεργασιών	
Εναλλάκτες θερμότητας (Ψυκτήρες / Θερμαντήρες)	9
Δοχεία εκτόνωσης	8
Αντλίες	2
Βαλβίδες	9
Συμπιεστές	4
Αναμείκτες / Διαχωριστές	4
Μονάδες απομάκρυνσης συστατικών	1

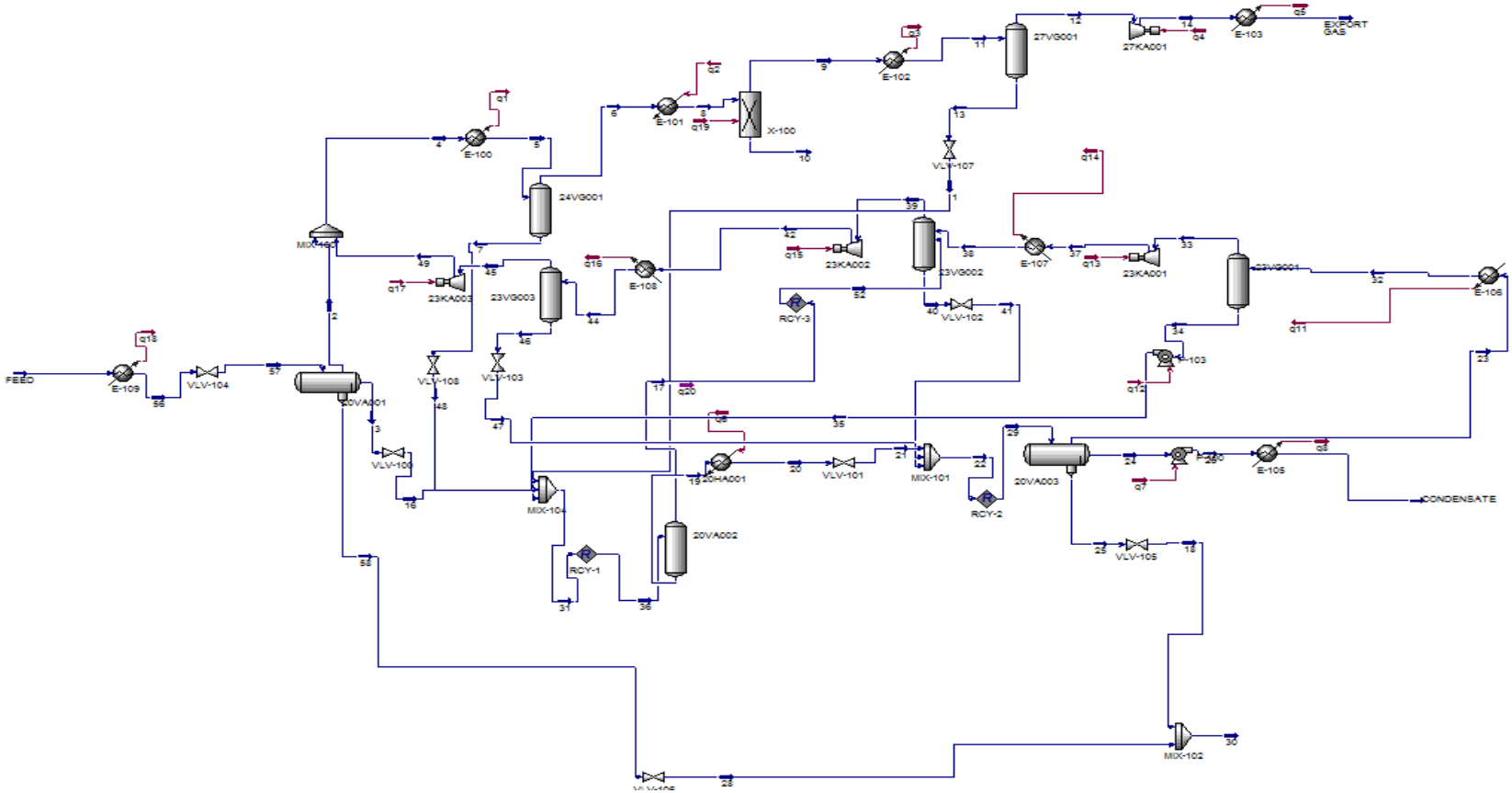
Πίνακας 62 Μονάδες διεργασιών στο διάγραμμα ροής του Aasta Hansteen

Ροές	
Ρεύματα Μάζας	59
Ρεύματα Ενέργειας	18

Πίνακας 61 Μαζικές και ενεργειακές ροές της μονάδας του Aasta Hansteen

Στην συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του Aasta Hansteen από το Hysys:

Εικόνα 21 Απλοποιημένο διάγραμμα ροής του Aasta Hansteen



8.3 Αποτελέσματα σύγκρισης πλήρους προσομοίωσης του Aasta Hansteen (Statoil) με την απλοποιημένη εκδοχή της και την χρήση ψευδοσυστατικών

Πρίν συνεχίσουμε με τον χαρακτηρισμό του βαριού κλάσματος του ρεύματος τροφοδοσίας θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της απλοποιημένης προσομοίωσης και θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα της Statoil. Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση που σχεδιάστηκε συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα με την SRK από την Statoil . Η σύγκριση δεν θα περιοριστεί μόνο στα βασικά ρεύματα εξόδου της μονάδας (ελαφρύ ρεύμα, συμπύκνωμα) αλλά και στα ρεύματα εμπλουτισμού του Export Gas και του Condensate. Πρόκειται για τα ρεύματα που προκύπτουν από τον επιπλέον διαχωρισμό και κλασματώνονται στα ελαφρύτερα που οδηγούνται για εμπλουτισμό του πλούσιου σε μεθάνιο ρεύμα εξόδου της μονάδας και στα βαρύτερα ρεύματα που καταλήγουν στον εμπλουτισμό του συμπυκνώματος. Η σύγκριση θα γίνει με βάση τις ροές μάζας και τις συστάσεις των περιεχόμενων συστατικών στην αρχική φάση της πιστοποίησης της νέας προσομοίωσης σε σχέση με τα δεδομένα σχεδιασμού της Statoil. Τα σφάλματα που υπολογίζονται στους πιο κάτω πίνακες εξάγονται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Sigma\varphi\acute{\alpha}\lambda\mu\alpha = \frac{T\iota\mu\acute{\eta}\ Statoil - T\iota\mu\acute{\eta}\ \pi\rho o\sigma o\mu o\acute{\iota}\omega\sigma\eta\varsigma\ (SRK/PR/UMR_new)}{T\iota\mu\acute{\eta}\ Statoil}$$

Αρχικά όμως θα παρουσιασθεί η σύσταση του ρεύματος τροφοδοσίας:

Συστατικά	Συγκεντρώσεις
H2O	0.0063
Nitrogen	0.0097
CO2	0.0049
Methane	0.9412
Ethane	0.0284
Propane	0.0015
i-Butane	0.0022
n-Butane	0.0004
i-Pentane	0.0009
n-Pentane	0.0003
LUVAC6*	0.0007
Benzene	2.186E-06
Toluene	9.340E-06
E-Benzene	3.279E-06
LUVAC7*	0.0010
LUVAC8*	0.0008
LUVAC9*	0.0003
LUVAC10-C11*	0.0004
LUVAC12*	0.0001
LUVAC13*	0.0001
LuvaC14*	0.0001
LuvaC15*	0.0001
LuvaC16-C17*	0.0002
LuvaC18-C19*	8.943E-05
LuvaC20-C23*	8.943E-05
LuvaC24-C49*	5.962E-05

8.3.1 Σύγκριση με βάση τις ροές μάζας του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)

Αρχικά θα πραγματοποιηθεί η σύγκριση των προσομοιώσεων με βάση τις ροές μάζας που προβλέπονται στα βασικά ρεύματα καθώς και τα ρεύματα εμπλουτισμού της διεργασίας.Αρχικά παρουσιάζεται η σύγκριση τα βασικά ρεύματα εξόδου της διεργασίας (ελαφρύ ρεύμα και ρεύμα συμπυκνώματος):

Βασικά Ρεύματα Διεργασίας				
Ελαφρύ ρεύμα		**STATOIL**	**SRK pseudo[8]**	**Σφάλμα%**
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	40125.01	41148.43	2.55
Συμπύκνωμα		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	115.81	114.98	-0.72

Πίνακας 63 Σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)

Με βάση τα πιο πάνω αποτελέσματα παρατηρούμε σχεδόν ταύτιση της προσομοίωσής μας με αυτή της Statoil που αποτελεί και την βάση σύγκρισης πράγμα που δείχνει πως η απλοποίηση που έγινε δεν είχε αρνητικές επιπτώσεις στα αποτελέσματα της προσομοίωσης.Εν συνεχεία θα παρουσιαστούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) και του συμπυκνώματος (Condensate). Τα πρώτα είναι :

Εμπλουτισμός Ελαφριού Ρεύματος (Export Gas)				
Ρεύμα 17		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	57.21	56.92	-0.50
Ρεύμα 23		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	12.19	10.44	-14.40
Ρεύμα 49		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	76.77	62.86	-18.12

Πίνακας 64 Σύγκριση μαζικών ροών ρευμάτων εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος της μονάδας του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)

Τα αντίστοιχα ρεύματα εμπλουτισμού για το συμπύκνωμα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Εμπλουτισμός Συμπυκνώματος (Condensate)				
Ρεύμα 48		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	2.28	2.44	6.97
Ρεύμα 41		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	0.19	0.05	-74.04
Ρεύμα 35		STATOIL	SRK pseudo	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	4.90	4.44	-9.22

Πίνακας 65 Σύγκριση μαζικών ροών ρευμάτων εμπλουτισμού του συμπυκνώματος της μονάδας του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)

[8] Με τον όρο SRK pseudo αναφερόμαστε στα αποτελέσματα της απλοποιημένης προσομοίωσης που δημιουργήσαμε με SRK και την χρήση ψευδοσυστατικών.

Παρατηρούμε γενικότερα μεγαλύτερα σφάλματα στα ρεύματα εμπλουτισμού κάτι το οποίο μπορεί να δικαιολογηθεί λόγω της απλοποίησης της προσομοίωσης της μονάδας του Aasta Hansteen. Έτσι αφού η πρόβλεψη στα βασικά ρεύματα είναι πολύ καλή ενώ στα άλλα μέτρια η νέα προσομοίωση γίνεται αποδεκτή συγκριτικά με την λεπτομερή προσομοίωση της Statoil.

8.3.2 Σύγκριση με βάση τις συστάσεις των ρευμάτων του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)

Εν συνεχεία θα πραγματοποιηθεί μία σύγκριση στα ίδια ρεύματα σε ότι αφορά τις συστάσεις τους. Αρχικά παρουσιάζεται η σύγκριση στα βασικά ρεύματα εξόδου της διεργασίας (ελαφρύ ρεύμα πλούσιο σε μεθάνιο και ρεύμα συμπυκνώματος). Ως προσομοίωση βάσης θα χρησιμοποιηθεί εκ νέου αυτή της Statoil. Για το ρεύμα του συμπυκνώματος έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Ρεύμα συμπυκνώματος (Condensate)		STATOIL	SRK WITH PSEUDO	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος		142.1897	142.6132	-0.2979
Περιεκτικότητα ανά συστατικό				
H2O		0.0553	0.0559	-1.1188
Nitrogen		8.4586E-07	1.0704E-06	-26.5466
CO2		0.0001	0.0001	-22.4934
Methane		0.0020	0.0020	2.9729
Ethane		0.0034	0.0031	7.4321
Propane		0.0019	0.0018	5.2074
i-Butane		0.0091	0.0090	0.9662
n-Butane		0.0025	0.0024	3.2282
i-Pentane		0.0170	0.0167	1.6001
n-Pentane		0.0061	0.0060	2.0204
LUVAC6*		0.0394	0.0390	1.1362
Benzene		0.0002	0.0002	9.3085
Toluene		0.0015	0.0015	0.3442
E-Benzene		0.0007	0.0007	0.3654
LUVAC7*		0.1468	0.1432	2.4926
LUVAC8*		0.1697	0.1687	0.5465
LUVAC9*		0.0738	0.0746	-1.0755
LUVAC10-C11*		0.1237	0.1255	-1.4497
LUVAC12*		0.0484	0.0489	-1.1069
LUVAC13*		0.0529	0.0534	-0.8788
LuvaC14*		0.0533	0.0537	-0.7660
LuvaC15*		0.0463	0.0466	-0.7286
LuvaC16-C17*		0.0606	0.0610	-0.7198
LuvaC18-C19*		0.0321	0.0323	-0.7199
LuvaC20-C23*		0.0321	0.0323	-0.7203
LuvaC24-C49*		0.0214	0.0215	-0.7203

Πίνακας 66 Σύγκριση αποτελεσμάτων σύστασης συμπυκνώματος της μονάδας Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)

Τα αποτελέσματα παρατηρούμε πως είναι εξαιρετικά καθώς οι αποκλίσεις είναι απειροελάχιστες και κυρίως στο άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα πράγμα που ίσως οφείλεται και στου συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij}.

Ακολουθεί το ρεύμα Export Gas μαζί με τις αποκλίσεις:

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)		STATOIL	SRK WITH PSEUDO	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος		17.05	17.05	0.00
Περιεκτικότητα ανά συστατικό				
H2O		3.241E-05	3.251E-05	-0.3070
Nitrogen		0.0098	0.0098	0.0023
CO2		0.0050	0.0050	0.0024
Methane		0.9497	0.9497	0.0010
Ethane		0.0286	0.0286	-0.0046
Propane		0.0015	0.0015	0.0042
i-Butane		0.0022	0.0022	0.0008
n-Butane		0.0004	0.0004	-0.0547
i-Pentane		0.0009	0.0009	-0.0738
n-Pentane		0.0003	0.0003	-0.1183
LUVAC6*		0.0006	0.0006	-0.1549
Benzene		1.685E-06	1.734E-06	-2.9061
Toluene		5.345E-06	5.359E-06	-0.2731
E-Benzene		1.213E-06	1.222E-06	-0.7679
LUVAC7*		0.0006	0.0006	-1.6398
LUVAC8*		0.0004	0.0004	-0.6582
LUVAC9*		7.403E-05	7.211E-05	2.5929
LUVAC10-C11*		4.379E-05	4.023E-05	8.1263
LUVAC12*		4.408E-06	3.741E-06	15.1250
LUVAC13*		1.583E-06	1.279E-06	19.1885
LuvaC14*		4.291E-07	3.323E-07	22.5652
LuvaC15*		8.483E-08	6.385E-08	24.7376
LuvaC16-C17*		1.128E-08	8.273E-09	26.6543
LuvaC18-C19*		2.987E-10	2.128E-10	28.7783
LuvaC20-C23*		1.491E-12	9.994E-13	32.9621
LuvaC24-C49*		6.101E-20	4.026E-20	34.0063

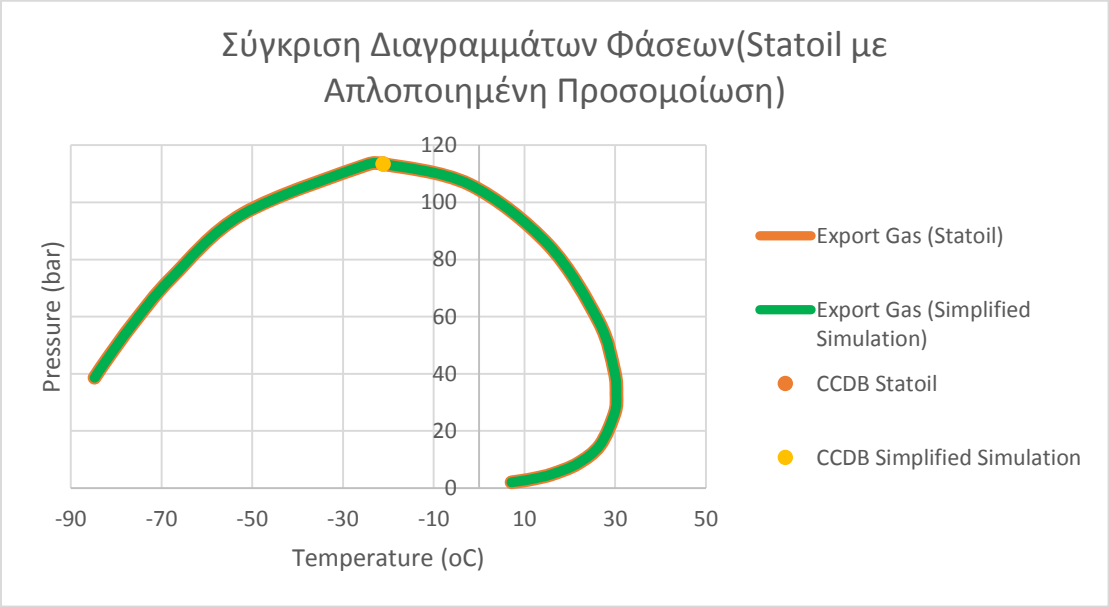
Πίνακας 67 Σύγκριση αποτελεσμάτων σύστασης ελαφριού ρεύματος της μονάδας Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)

Στην περίπτωση του ρεύματος πλούσιου σε μεθάνιο οι αποκλίσεις είναι κάπως μεγαλύτερες κυρίως στα βαρύτερα συστατικά. Αυτό όμως δεν είναι αποθαρρυντικό εντελώς καθώς οι αποκλίσεις εμφανίζονται κυρίως σε συστατικά με πολύ μικρές συγκεντρώσεις που δεν δημιουργεί μεγάλη διαφορά στην πρόρρηση.

8.3.3 Σύγκριση προδιαγραφών της μονάδας Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)

Αρχικά θα παρουσιαστεί η σύγκριση των διαγραμμάτων φάσεων για την προσομοίωση της Statoil και την απλοποιημένη εκδοχή που δημιουργήσαμε.

Το διάγραμμα του ελαφριού ρεύματος για τις 2 προσομοιώσεις είναι το ακόλουθο:



Διάγραμμα 12 Σύγκριση διαγραμμάτων φάσεων για το ελαφρύ ρεύμα του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)

Παρατηρούμε την πολύ καλή ταύτιση στις 2 προσομοιώσεις στην πρόβλεψη του διαγράμματος φάσεων.

Σε ότι αφορά τα αποτελέσματα για το σημείο δρόσου υδρογονανθράκων (HC dew point) και το σημείο δρόσου του νερού στο μίγμα (Water Dew Point), αυτά καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα:

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)	Statoil	SRK with pseudo	Απόκλιση
Σημείο Δρόσου Υδρογονανθράκων (στους 0 oC)	103.5 bar	104.5 bar	1 bar
Σημείο δρόσου νερού (στους -18 oC)	69 bar	70 bar	1 bar

Πίνακας 68 Σύγκριση προδιαγραφών ελαφριού ρεύματος Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)

Παρατηρούμε λοιπόν πολύ μικρές αποκλίσεις πράγμα που πιστοποιεί ότι γενικώς η απλοποίηση της προσομοίωσης έγινε με τρόπο τέτοιο που δεν αλλοίωσε την εικόνα της και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω συγκρίσεις.

8.4 Προσομοίωση με SRK/PR/UMR_new της μονάδας Aasta Hansteen και χαρακτηρισμός του βαριού κλάσματος

Αφού παρουσιάσθηκε η απλοποιημένη εκδοχή της προσομοίωσης και διαπιστώθηκε πως τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά κοντά, εν συνεχεία θα προχωρήσουμε στην προσομοίωση της μονάδας με πραγματικά συστατικά. Θα ακολουθηθεί λοιπόν η διαδικασία χαρακτηρισμού. Ο χαρακτηρισμός έγινε με 3 τρόπους που θα αναλυθούν στην συνέχεια:

Στην πρώτη περίπτωση βασιστήκαμε στο κανονικό σημείο βρασμού για το κάθε συστατικό. Δεν έγινε χρήση του σημείου βρασμού που είχε υπολογιστεί και αποδοθεί στο ψευδοσυστατικό από την Statoil αλλά έγινε χρήση μιας σχέσης που συσχετίζει το μοριακό βάρος καθώς και την πυκνότητα με το κανονικό σημείο βρασμού. Η σχέση αυτή αναπτύχθηκε από τους Retzekas et al. και είναι η ακόλουθη (E. Retzekas, 2002):

$$T_b = 48.89673 * MW^{0.46667} * d^{0.3636}$$

Όπου MW είναι το μοριακό βάρος (σε kg/kmol) και d είναι η πυκνότητα της υγρής φάσης (σε gr/ml). Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των σημείων βρασμού συγκεντρώνονται και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα όπου γίνεται σύγκριση του σημείου βρασμού από το Hysys της Statoil με αυτό που υπολογίστηκε από εμάς μέσω του μοριακού βάρους και της πυκνότητας της υγρής φάσης:

Ψευδοσυστατικά	Κανονικό σημείο βρασμού1[9] (K)	Μοριακό Βάρος	Πυκνότητα υγρής φάσης (gr/ml)	Κανονικό σημείο βρασμού2[10] (K)	Διαφορά (K)
LuvaC6*	341.900	86.178	0.664	337.135	4.765
LuvaC7*	365.126	96.000	0.738	368.440	3.314
LuvaC8*	389.969	107.000	0.765	392.669	2.700
LuvaC9*	415.471	121.000	0.781	419.003	3.532
LuvaC10-C11*	448.633	139.556	0.794	450.506	1.873
LuvaC12*	481.500	161.000	0.810	485.133	3.633
LuvaC13*	500.400	175.000	0.825	507.759	7.359
LuvaC14*	519.600	190.000	0.836	530.172	10.572
LuvaC15*	539.000	206.000	0.842	551.992	12.992
LuvaC16-C17*	563.954	228.775	0.847	580.951	16.997
LuvaC18-C19*	590.857	255.723	0.852	613.224	22.367
LuvaC20-C23*	626.569	292.695	0.869	657.820	31.251
LuvaC24-C49*	707.794	394.098	0.899	765.042	57.248

Πίνακας 69 Υπολογισμός κανονικού σημείου βρασμού των ψευδοσυστατικών μεσα από την σχέση του Retzekas et al. για την μονάδα του Aasta Hansteen (E. Retzekas, 2002)

[9] Με τον όρο κανονικό σημείο βρασμού1 αναφερόμαστε σε αυτό που μας δόθηκε από την Statoil

[10] Με τον όρο κανονικό σημείο βρασμού2 αναφερόμαστε στο υπολογισμένο σημείο από την σχέση των Retzekas et al

Με βάση λοιπόν αυτή την θερμοκρασία βρασμού (κανονικό σημείο βρασμού2) και χρησιμοποιώντας την data base του εργαστηρίου καθώς και το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε και αναλύθηκε στην προηγούμενη προσομοίωση της μονάδας Kristin, βρέθηκαν για το κάθε συστατικό τα 8 επικρατέστερα πραγματικά συστατικά που χαρακτηρίζουν καλύτερα αυτά τα ψευδοσυστατικά.
Τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού (πρώτος χαρακτηρισμός), δηλαδή τα συστατικά που επιλέχθηκαν από τα επικρατέστερα συγκεντρώνονται στον ακόλουθα πίνακα:

Αποτελέσματα πρώτου χαρακτηρισμού		
Ψευδοσυστατικά	Χαρακτηρισμένα Συστατικά	Απόλυτη Διαφορά σημείων βρασμού (K)
LuvaC6	3-M-C5	0.715
LuvaC7	nC7	3.140
LuvaC8	1,1-DM-cy-C6	0.031
LuvaC9	o-xylene	1.423
LuvaC10-C11	nC10	3.206
LuvaC12	nC12	4.337
LuvaC13	nC13	0.861
LuvaC14	nC14	3.442
LuvaC15	nC16	8.018
LuvaC16-C17	nC17	5.651
LuvaC18-C19	Phenathrene	0.226
LuvaC20-C23	nC24	6.630
LuvaC24-C49	nC36	5.108

Πίνακας 70 Αποτελέσματα πρώτου χαρακτηρισμού του μίγματος τροφοδοσίας του Aasta Hansteen (βασίζεται στο σημείο βρασμού)

Παρατηρώντας τις μεγάλες διαφορές στο υπολογιζόμενο σημείο βρασμού σε σχέση με αυτό που είχε δοθεί από την Statoil και κυρίως από το LuvaC13* και κάτω επιλέξαμε να αλλάξουμε τον χαρακτηρισμό σε αυτά τα συστατικά χρησιμοποιώντας αυτή την φορά το σημείο βρασμού που είχε υπολογιστεί από την Statoil. Έτσι δημιουργήσαμε μία δεύτερη λίστα η οποία από το LuvaC12 και πριν χρησιμοποιεί ως σημείο βρασμού αυτό που υπολογίσθηκε με την πιο πάνω σχέση, ενώ από το LuvaC13 και μετά γίνεται χρήση του κανονικού σημείου βρασμού που μας δόθηκε από την Statoil. Τα αποτελέσματα του νέου χαρακτηρισμού (δεύτερος χαρακτηρισμός) είναι τα ακόλουθα:

Αποτελέσματα δεύτερου χαρακτηρισμού		
Ψευδοσυστατικά	Χαρακτηρισμένα Συστατικά	Απόλυτη Διαφορά σημείων βρασμού (K)
LuvaC6*	3-M-C5	0.715
LuvaC7*	nC7	3.140
LuvaC8*	1,1-DM-cy-C6	0.031
LuvaC9*	o-xylene	1.423
LuvaC10-C11*	nC10	3.206
LuvaC12*	nC12	4.337
LuvaC13*	n-Hexylbenzene	1.140
LuvaC14*	n- Heptylbenzene	0.350
LuvaC15*	n-Octylbenzene	1.450
LuvaC16-C17*	nC16	3.944
LuvaC18-C19*	nC18	0.997
LuvaC20-C23*	nC20	9.639
LuvaC24-C49*	nC28	3.794

Πίνακας 71 Αποτελέσματα δεύτερου χαρακτηρισμού του μίγματος τροφοδοσίας του Aasta Hansteen (βασίζεται στο σημείο βρασμού που προβλέπεται από την σχέση των Retzekas μέχρι το LuvaC12 ενώ μετά από τα σημεία βρασμού της Statoil)

Εκτός όμως από τον χαρακτηρισμό του βαριού κλάσματος με βάση τα κανονικά σημεία βρασμού, έγινε και με χρήση των δεδομένων του μοριακού βάρους των ψευδοσυστατικών. Στην τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού έγινε χρήση του ίδιου προγράμματος που αναπτύχθηκε όπως και πρίν με την διαφορά πως εισάγουμε μοριακό βάρος και εκτυπώνονται οι 8 επικρατέστερες ενώσεις. Τα αποτελέσματα του τρίτου χαρακτηρισμού συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Αποτελέσματα τρίτου χαρακτηρισμού		
Ψευδοσυστατικά	Χαρακτηρισμένα Συστατικά	Απόλυτη Διαφορά σημείων βρασμού (K)
LuvaC6*	22DMC4	0.001
LuvaC7*	McyC6	2.188
LuvaC8*	oxylene	0.833
LuvaC9*	npropylBenzene	0.806
LuvaC10-C11*	nC10	2.444
LuvaC12*	nC11	4.688
LuvaC13*	nC12	4.662
LuvaC14*	nC13	5.635
LuvaC15*	nC15	7.419
LuvaC16-C17*	nC16	2.329
LuvaC18-C19*	nC18	1.223
LuvaC20-C23*	nC21	3.8791
LuvaC24-C49*	nC28	0.671

Πίνακας 72 Αποτελέσματα τρίτου χαρακτηρισμού του μίγματος τροφοδοσίας του Aasta Hansteen (βασίζεται στο μοριακό βάρος)

Τα συστατικά βρέθηκαν χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της Statoil για το μοριακό βάρος των ψευδοσυστατικών και συγκρίνοντάς τα με την χρήση του προγράμματος που αναπτύχθηκε με τα μοριακά βάρη των συστατικών της βάσης δεδομένων του εργαστηρίου.

Για την επιλογή αυτών των συστατικών κατά την δημιουργία των προσομοιώσεων αρκεί στο μενού properties και component list να δημιουργήσουμε μια λίστα για κάθε χαρακτηρισμό. Επίσης επιλέγονται οι καταστατικές εξισώσεις SRK και PR στις οποίες δεν μεταβάλλουμε τους συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij} αλλά αφήνουμε στις default επιλογές τους.

Για την προσομοίωση με UMR_new δημιουργούμε 3 fluid packages (με ονομασία aasta1, aasta2 και aastamw) όπου βάζουμε τα προηγούμενα συστατικά σε περιβάλλον Excel:

Fluid Package No:	1
Fluid Package File Name:	aasta1
Fluid Package Short Name:	aasta1
Fluid Package Description:	aasta1
Fluid Package Number of Components:	26
Select Compounds:	
H20	
N2	
CO2	
CH4	
C2H6	
nC3	
iC4	
nC4	
iC5	
nC5	
3MC5	
Benzene	
toluene	
Ebenzene	
nC7	
11DMcyC6	
oxylene	
nC10	
nC12	
nC13	
nC14	
nC16	
nC17	
Phenathrene	
nC24	
nC36	

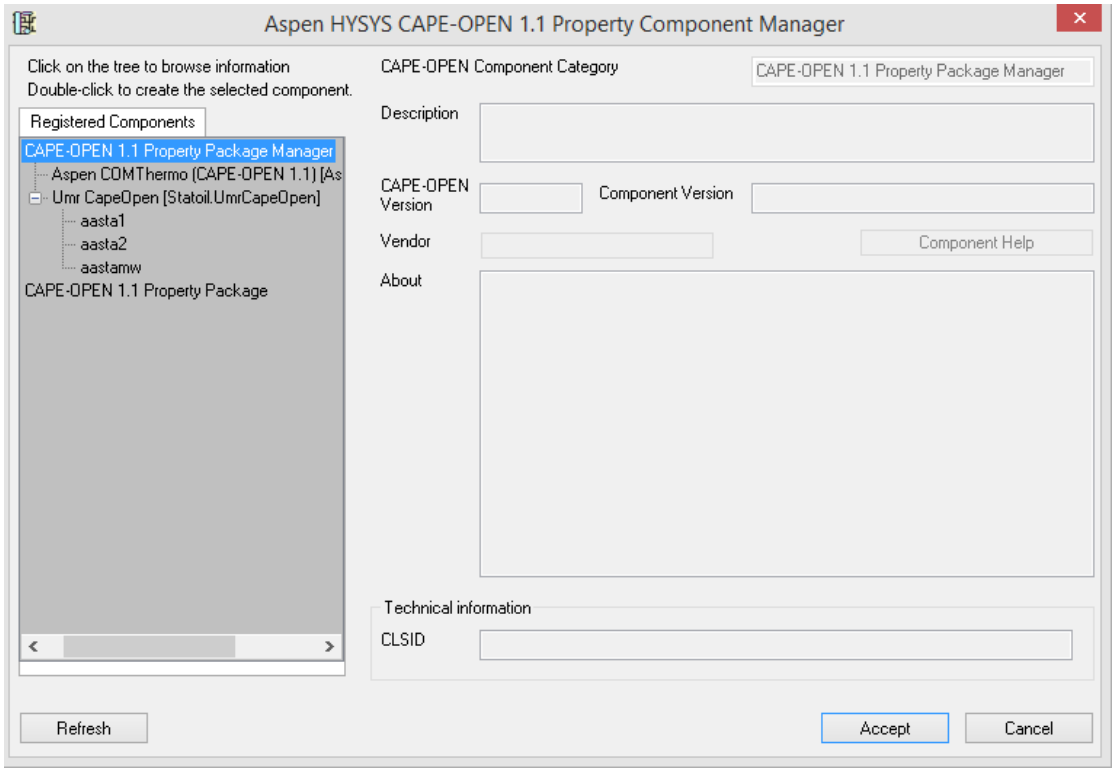
Fluid Package No:	2
Fluid Package File Name:	aasta2
Fluid Package Short Name:	aasta2
Fluid Package Description:	aasta2
Fluid Package Number of Components:	26
Select Compounds:	
H20	
N2	
CO2	
CH4	
C2H6	
nC3	
iC4	
nC4	
iC5	
nC5	
2MC5	
Benzene	
toluene	
Ebenzene	
nC7	
11DMcyC6	
oxylene	
nC10	
nC12	
nHexylbenzene	
nHeptylbenzene	
nOctylbenzene	
nC16	
nC18	
nC20	
nC28	

Fluid Package No:	3
Fluid Package File Name:	aastamw
Fluid Package Short Name:	aastamw
Fluid Package Description:	aastamw
Fluid Package Number of Components:	26
Select Compounds:	
H20	
N2	
CO2	
CH4	
C2H6	
nC3	
iC4	
nC4	
iC5	
nC5	
22DMC4	
Benzene	
toluene	
Ebenzene	
McyC6	
oxylene	
npropylBenzene	
nC10	
nC11	
nC12	
nC13	
nC15	
nC16	
nC18	
nC21	
nC28	

Εικόνα 22 Δήλωση συστατικών τριών μεθόδων χαρακτηρισμού για την μονάδα Aasta Hansteen και το UMR_new

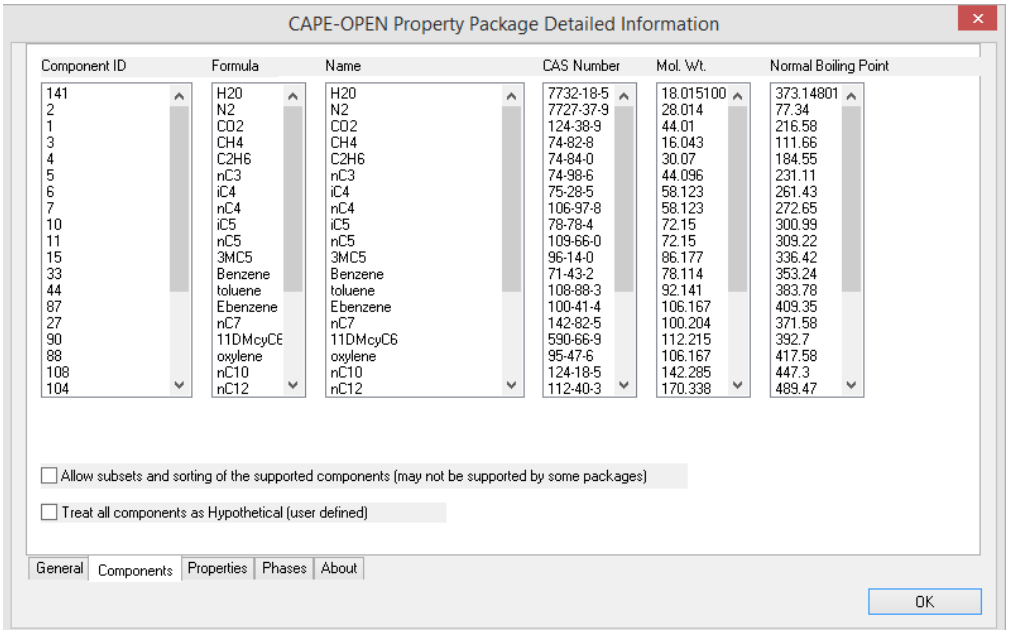
Αφού δημιουργηθούν αυτά ανοίγουμε ένα νέο αρχείο Hysys όπου δεν επιλέγουμε τα κλασικά Fluid Packages αλλά τα COM THERMO. Εμφανίζεται η ακόλουθη οθόνη στην συνέχεια:

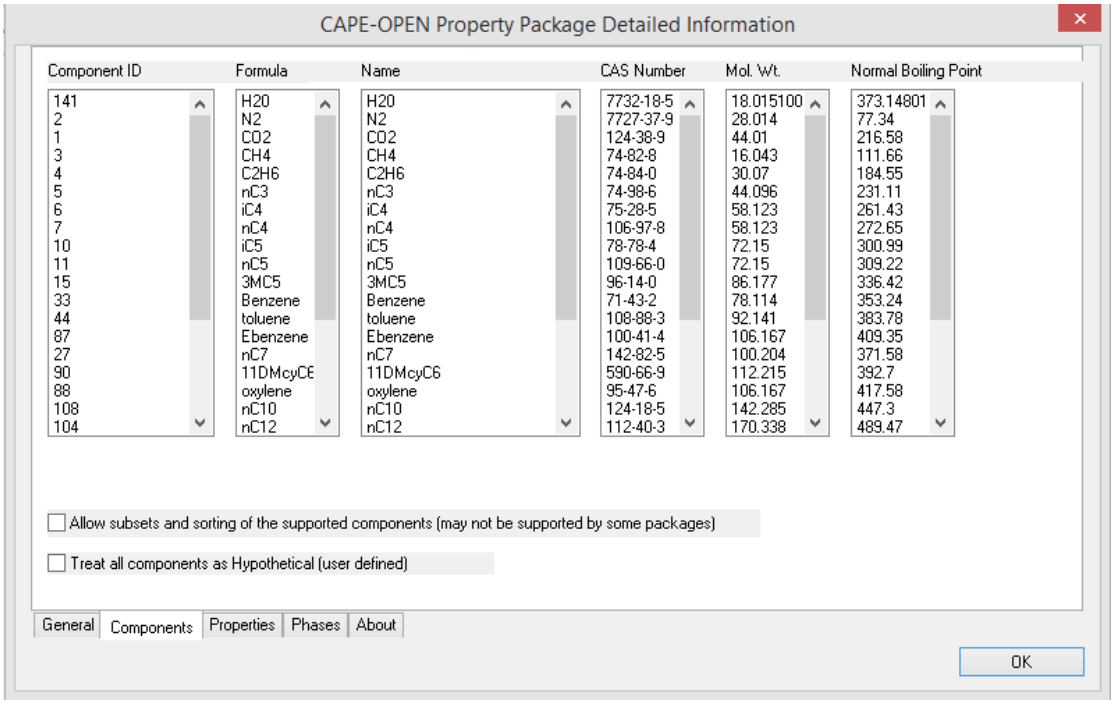
Εικόνα 23 Μενού επιλογής πακέτων συστατικών για την μονάδα Aasta Hansteen με το UMR_new στο HYSYS

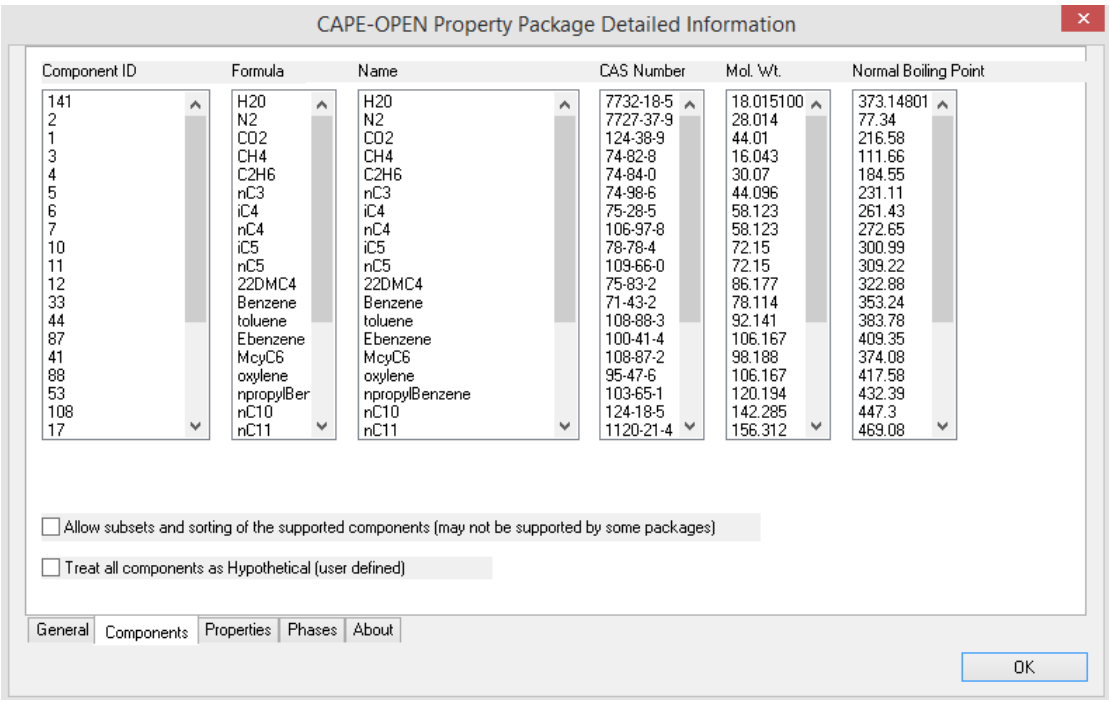


Εδώ επιλέγουμε για τον πρώτο χαρακτηρισμό το πρώτο (aasta1), για το δεύτερο χαρακτηρισμό το δεύτερο (aasta2) και για τον τρίτο χαρακτηρισμό (aastamw).

Σαν επιβεβαίωση ότι έχουν εισαχθεί όλα σωστά σε ότι αφορά τα συστατικά παρουσιάζονται τα ακόλουθα:







Εικόνα 24 Επιβεβαίωση επιτυχούς εισαγωγής λιστών συστατικών στο HYSYS για την μονάδα του Aasta Hansteen

Αποτελέσματα της προσομοίωσης του Aasta Hansteen με χρήση και των 3 χαρακτηρισμών και καταστατικών εξισώσεων

Τα αποτελέσματα από την απλοποιημένη προσομοίωση που σχεδιάστηκε συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα με την SRK από την Statoil. Τα μοντέλα πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η SRK καθώς και η Peng Robinson και το UMR_new. Η σύγκριση που έγινε και θα παρουσιαστεί στην συνέχεια δεν θα περιοριστεί στα βασικά ρεύματα εξόδου της μονάδας (δηλαδή στο ελαφρύ ρεύμα και το συμπύκνωμα) αλλά θα παρουσιαστούν και τα αποτελέσματα στα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος και του συμπυκνώματος. Όπως αναλύθηκε και στην προσομοίωση της μονάδας Kristin τα ρεύματα αυτά προέρχονται από τον επιπλέον διαχωρισμό του οποίο το τελικό αποτέλεσμα είναι η κλασμάτωση σε ελαφρύτερα ρεύματα που οδηγούνται στο ρεύμα εξόδου πλούσιο σε μεθάνιο (Export Gas) και σε βαρύτερα ρεύματα που οδηγούνται στο ρεύμα του συμπυκνώματος (Condensate).

Η σύγκριση θα γίνει με βάση τις ροές μάζας και τις συστάσεις των περιεχόμενων συστατικών στην αρχική φάση της πιστοποίησης της νέας προσομοίωσης σε σχέση με τα δεδομένα σχεδιασμού της Statoil. Ακόμα θα γίνει σύγκριση των προδιαγραφών λειτουργίας της μονάδας (σημείο Cricondenbar του ελαφριού ρεύματος καθώς και πρόβλεψη των σημείων δρόσου υδρογονανθράκων και νερού (hydrocarbon και water dew point). Η πρόβλεψη αυτών των προδιαγραφών είναι εξέχουσας σημασίας λόγω του ότι όπως θα αναλυθεί η ακριβής πρόβλεψη της προδιαγραφής μεταφράζεται σε ελάφρυνση κόστους για την βιομηχανία.

Τα σφάλματα που υπολογίζονται στους πιο κάτω πίνακες εξάγονται από την ακόλουθη σχέση και πάλι:

$$\Sigma\varphi\acute{\alpha}\lambda\mu\alpha = \frac{T\iota\mu\acute{\eta}\ Statoil - T\iota\mu\acute{\eta}\ \pi\rho o\sigma o\mu o\acute{\iota}\omega\sigma\eta\varsigma\ (SRK/PR/UMR_new)}{T\iota\mu\acute{\eta}\ Statoil}$$

8.4.1 Σύγκριση με βάση τις ροές μάζας των προσομοιώσεων για την μονάδα Aasta Hansteen με τις τρείς μεθόδους χαρακτηρισμού

Αρχικά θα πραγματοποιηθεί η σύγκριση των προσομοιώσεων με βάση τις ροές μάζας που προβλέπονται στα βασικά ρεύματα καθώς και τα ρεύματα εμπλουτισμού της διεργασίας.

Πρώτα παρουσιάζεται η σύγκριση στα βασικά ρεύματα εξόδου της διεργασίας (ελαφρύ ρεύμα και συμπύκνωμα) με την SRK (με default επιλογή για kij) και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (SRK1)				
Ελαφρύ ρεύμα		STATOIL	SRK1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	40125.0145	41164.2431	-2.5900
Συμπύκνωμα		STATOIL	SRK1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	115.8067	98.8544	14.6385
Μέση Απόκλιση %	8.6142			

Πίνακας 73 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (SRK με πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού)

Ακολουθούν τα ίδια αποτελέσματα με SRK και την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (SRK2)				
Ελαφρύ ρεύμα		STATOIL	SRK2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	40125.0145	41162.8886	-2.5866
Συμπύκνωμα		STATOIL	SRK2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	115.8067	99.9509	13.6915
Μέση Απόκλιση %	8.1390			

Πίνακας 74 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (SRK με δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού)

Τέλος ακολουθούν τα αποτελέσματα με SRK και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (SRK3)				
Ελαφρύ ρεύμα		STATOIL	SRK3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	40125.0145	41149.1575	-2.5524
Συμπύκνωμα		STATOIL	SRK3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	115.8067	114.5238	1.1078
Μέση Απόκλιση %	1.8301			

Πίνακας 75 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (SRK με τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού)

Στην συνέχεια θα ακολουθήσουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με Peng Robinson και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού: Αρχικά ακολουθούν τα αποτελέσματα με την πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (PR1)				
Ελαφρύ ρεύμα		STATOIL	PR1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	40125.0145	41169.4322	-2.6029
Συμπύκνωμα		STATOIL	PR1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	115.8067	93.2976	19.4369
Μέση Απόκλιση %	11.0199			

Πίνακας 76 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (PR με πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού)

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με Peng Robinson (με χρήση default kij του Hysys) και την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (PR2)				
Ελαφρύ ρεύμα		STATOIL	PR2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	40125.0145	41168.0244	-2.5994
Συμπύκνωμα		STATOIL	PR2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	115.8067	94.6415	18.2763
Μέση Απόκλιση %	10.4378			

Πίνακας 77 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (PR με δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού)

Τέλος ακολουθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με την χρήση της τρίτης μεθόδου χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (PR3)				
Ελαφρύ ρεύμα		STATOIL	PR3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	40125.0145	41154.7180	-2.5662
Συμπύκνωμα		STATOIL	PR3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	115.8067	108.5827	6.2381
Μέση Απόκλιση %	4.4021			

Πίνακας 78 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (PR με τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού)

Τέλος ακολουθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με UMR_new και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Μαζικές Ροές (UMR1)				
Ελαφρύ ρεύμα		STATOIL	UMR1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	40125.0145	41164.5482	-2.5907
Συμπύκνωμα		STATOIL	UMR1	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	115.8067	99.1045	14.4225
Μέση Απόκλιση %	8.5097			

Πίνακας 79 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (UMR_new με πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού)

Ακολουθούν τα αποτελέσματα με την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού και την χρήση του μοντέλου UMR_new:

Μαζικές Ροές (UMR2)				
Ελαφρύ ρεύμα		STATOIL	UMR2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	40125.0145	41164.8336	-2.5914
Συμπύκνωμα		STATOIL	UMR2	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	115.8067	98.5007	14.9439
Μέση Απόκλιση %	8.7676			

Πίνακας 80 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (UMR_new με δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού)

Τέλος ακολουθούν τα αποτελέσματα με UMR_new και την χρήση του 3^{ου} χαρακτηρισμού:

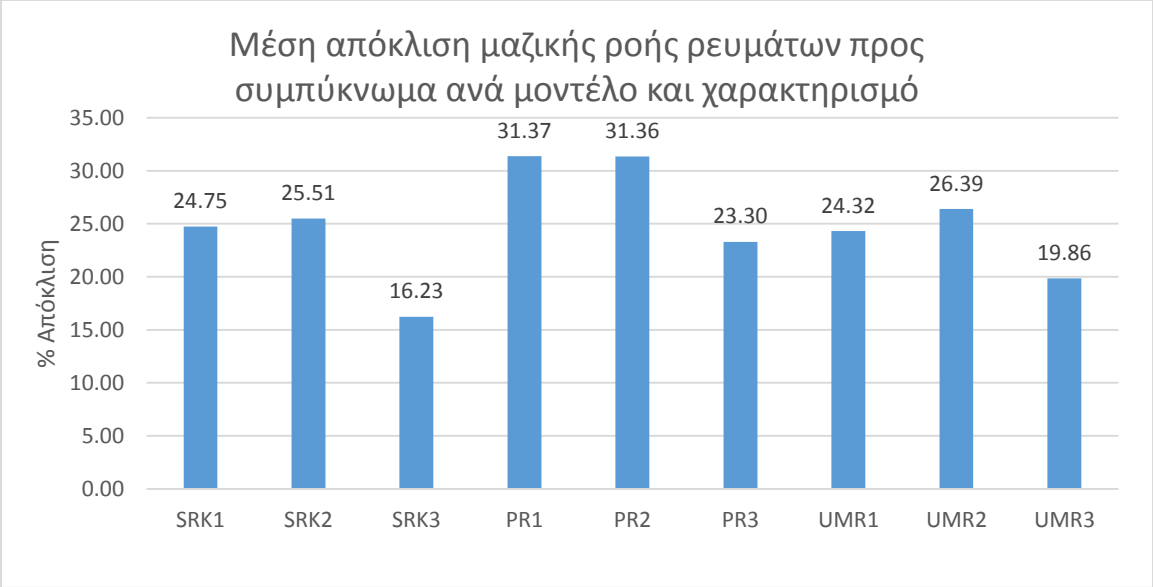
Μαζικές Ροές (UMR3)				
Ελαφρύ ρεύμα		STATOIL	UMR3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	40125.0145	41151.3092	-2.5577
Συμπύκνωμα		STATOIL	UMR3	Σφάλμα%
Συνολική Γραμμομοριακή ροή	kgmol/hr	115.8067	112.5943	2.7739
Μέση Απόκλιση %	2.6658			

Πίνακας 81 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (UMR_new με τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού)

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα με κάθε μοντέλο και μέθοδο χαρακτηρισμού βλέπουμε πως το καλύτερο αποτέλεσμα προκύπτει με την SRK και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού η οποία βασίζεται στο μοριακό βάρος. Ακολουθεί από πολύ κοντά το μοντέλο UMR_new εκ νέου με την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού και πάλι.

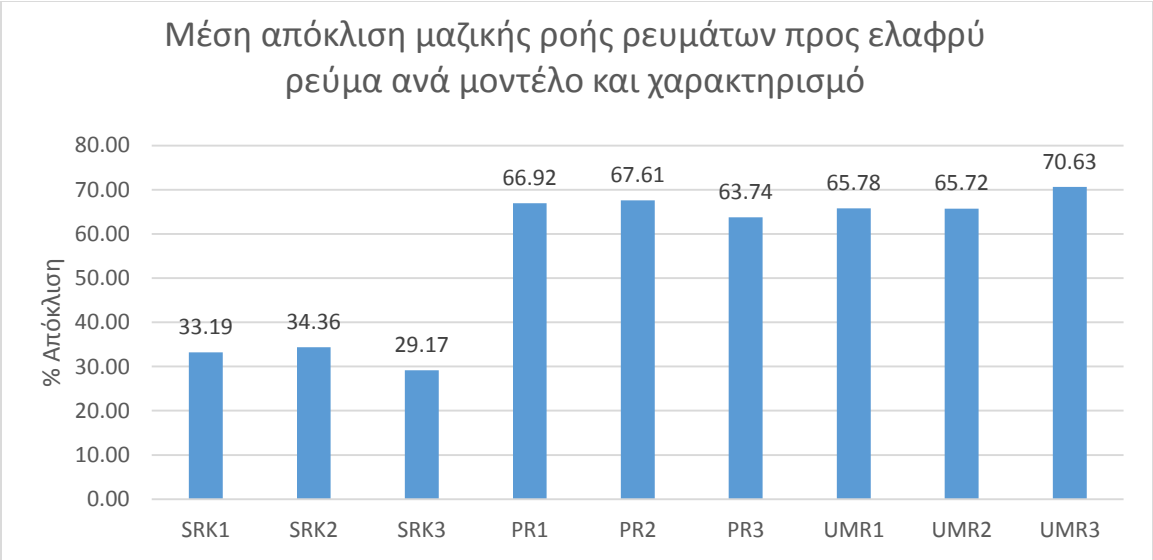
Ακολούθως θα παρουσιαστεί η μέση απόκλιση στα ρεύματα εμπλουτισμού του Export Gas και του Condensate σε ότι αφορά την μαζική ροή. Οι πίνακες για τα αναλυτικά αποτελέσματα για κάθε ρεύμα θα βρίσκονται στο παράρτημα.

Αρχικά θα δειχθεί το διάγραμμα σφαλμάτων για τα ρεύματα που καταλήγουν σε εμπλουτισμό του ρεύματος εξόδου Condensate:



Διάγραμμα 13 Μέση απόκλιση μαζικής ροής ρευμάτων προς συμπύκνωμα του Aasta Hansteen ανά μοντέλο και χαρακτηρισμό

Ακολουθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα ρεύματα που οδηγούνται για τον εμπλουτισμό του ρεύματος πλούσιου σε μεθάνιο (Export Gas).



Διάγραμμα 14 Μέση απόκλιση μαζικής ροής ρευμάτων προς ελαφρύ ρεύμα (Export Gas) ανά μοντέλο και χαρακτηρισμό

Στο πρώτο διάγραμμα παρατηρούμε πως υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις γενικότερα. Η SRK με την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα ενώ το UMR_new με την ίδια μέθοδο χαρακτηρισμού δίνει επίσης σχετικά καλά αποτελέσματα. Στην περίπτωση των ρευμάτων εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος τα αποτελέσματα είναι κάπως χειρότερα . Η τρίτη μέθοδος χαρακτηρισμού που βασίζεται στο μοριακό βάρος δίνει καλύτερα αποτελέσματα

με την SRK. Η SRK υπερέχει σε σχέση με τα άλλα 2 μοντέλα ενώ το UMR_new και η Peng Robinson δίνουν παρόμοια αποτελέσματα.

8.4.2 Σύγκριση με βάση τις συστάσεις των προσομοιώσεων για την μονάδα Aasta Hansteen με τις τρείς μεθόδους χαρακτηρισμού

Εν συνεχεία θα πραγματοποιηθεί μία σύγκριση στα ίδια ρεύματα σε ότι αφορά τις συστάσεις τους. Ως προσομοίωση βάσης θα χρησιμοποιηθεί εκ νέου αυτή της Statoil. Αρχικά παρουσιάζεται η σύγκριση τα βασικά ρεύματα εξόδου της διεργασίας (ελαφρύ ρεύμα και ρεύμα συμπυκνώματος).Στα ψευδοσυστατικά της προηγούμενης περίπτωσης αντιστοιχίζονται τα συστατικά που προέκυψαν με την προαναφερθείσα διαδικασία των τριών μεθόδων χαρακτηρισμού. Έτσι το πρώτο συστατικό αντιστοιχεί στο συστατικό που προέκυψε με την μέθοδο χαρακτηρισμού που βασίζεται στο κανονικό σημείο βρασμού, το δεύτερο με αυτήν που βασίστηκε στα αντίστοιχα κανονικά αλκάνια ενώ το τρίτο συστατικό με την μέθοδο που βασίστηκε στο μοριακό βάρος. Εν συνεχεία θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα με SRK και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού για το ρεύμα του Export Gas:

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)	STATOIL	SRK1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	17.0539	17.0921	-0.2239	17.0895	-0.2084	17.0563	-0.0138
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	3.241E-05	3.25E-05	-0.3350	3.25E-05	-0.3353	3.25E-05	-0.3020
Nitrogen	0.0098	0.0098	0.0408	0.0098	0.0376	0.0098	0.0041
CO2	0.0050	0.0050	0.0401	0.0050	0.0371	0.0050	0.0040
Methane	0.9497	0.9493	0.0395	0.9493	0.0364	0.9497	0.0028
Ethane	0.0286	0.0286	0.0291	0.0286	0.0275	0.0286	-0.0021
Propane	0.0015	0.0015	-0.0183	0.0015	-0.0056	0.0015	0.0080
i-Butane	0.0022	0.0022	-0.1387	0.0022	-0.0967	0.0022	0.0420
n-Butane	0.0004	0.0004	-0.3607	0.0004	-0.2857	0.0004	-0.0493
i-Pentane	0.0009	0.0009	-0.8266	0.0009	-0.6605	0.0009	-0.0101
n-Pentane	0.0003	0.0003	-1.1707	0.0003	-0.9507	0.0003	-0.1243
LUVAC6*/ 3-Mpentane	0.0006	0.0006	-4.3971	0.0006	-3.9333	0.0006	-5.0854
Benzene	1.685E-06	1.86E-06	-10.6386	1.84E-06	-9.2950	1.78E-06	-5.8487
Toluene	5.345E-06	6.28E-06	-17.4956	6.12E-06	-14.5257	5.67E-06	-5.9986
E-Benzene	1.213E-06	1.56E-06	-28.6882	1.49E-06	-23.1299	1.31E-06	-7.8848
LUVAC7*/n-Heptane	0.0006	0.0007	-21.1071	0.0007	-19.8413	0.0007	-13.6836
LUVAC8*/11-Mcychexan	0.0004	0.0005	-41.7060	0.0005	-39.2401	0.0003	22.1544
LUVAC9*/o-Xylene	7.403E-05	0.0001	-58.9895	0.0001	-50.7542	5.91E-05	20.1378
LUVAC10-C11*/n-Decane	4.379E-05	6.39E-05	-45.9513	6.14E-05	-40.2655	4.82E-05	-10.0959
LUVAC12*/n-C12	4.408E-06	4.59E-06	-4.1858	4.25E-06	3.6443	6.79E-06	-53.9455
LUVAC13*/n-C13\n-	1.583E-06	1.37E-06	13.1817	2.43E-06	-53.5515	2.79E-06	-76.4897

Hexyl-BZ							
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	4.291E-07	2.90E-07	32.4790	5.54E-07	-28.9860	6.19E-07	-44.2027
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	8.483E-08	2.13E-08	74.8383	1.05E-07	-24.2117	3.28E-08	61.2985
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	1.128E-08	1.19E-08	-5.3351	2.40E-08	-112.9281	9.21E-09	18.3863
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	2.987E-10	1.14E-09	-281.4320	2.27E-09	-660.9874	8.63E-10	-189.0095
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	1.491E-12	2.13E-13	85.6790	5.37E-11	-3501.2240	1.31E-12	12.0784
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	6.101E-20	6.29E-20	-3.0742	7.18E-16	-1176948	1.05E-18	-1624

Πίνακας 82 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων ελαφριού ρεύματος του Aasta Hansteen (SRK και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού)

Τα ίδια αποτελέσματα παρουσιάζονται με την καταστατική εξίσωση Peng Robinson (με default συντελεστές αλληλεπίδρασης) και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)	STATOIL	PR1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	17.0539	17.1037	-0.2920	17.1009	-0.2751	17.0686	-0.0857
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	3.241E-05	3.28E-05	-1.2771	3.28E-05	-1.2758	3.28E-05	-1.2491
Nitrogen	0.0098	0.0098	0.0536	0.0098	0.0502	0.0098	0.0179
CO2	0.0050	0.0050	0.0556	0.0050	0.0525	0.0050	0.0215
Methane	0.9497	0.9492	0.0520	0.9492	0.0486	0.9495	0.0164
Ethane	0.0286	0.0286	0.0412	0.0286	0.0392	0.0286	0.0108
Propane	0.0015	0.0015	-0.0163	0.0015	-0.0053	0.0015	-0.0038
i-Butane	0.0022	0.0022	-0.1693	0.0022	-0.1292	0.0022	0.0115
n-Butane	0.0004	0.0004	-0.4536	0.0004	-0.3814	0.0004	-0.1531
i-Pentane	0.0009	0.0009	-1.4182	0.0009	-1.2554	0.0009	-0.6775
n-Pentane	0.0003	0.0003	-1.7051	0.0003	-1.4719	0.0003	-0.7006
LUVAC6*/ 3-Mpentane	0.0006	0.0006	-5.9708	0.0006	-5.4621	0.0007	-6.5421
Benzene	1.685E-06	1.90E-06	-12.8199	1.88E-06	-11.4554	1.83E-06	-8.4950
Toluene	5.345E-06	6.62E-06	-23.8857	6.46E-06	-20.7749	6.05E-06	-13.2392
E-Benzene	1.213E-06	1.74E-06	-43.7300	1.67E-06	-37.6162	1.50E-06	-23.5732
LUVAC7*/n-Heptane	0.0006	0.0008	-26.5840	0.0008	-25.1692	0.0007	-21.0060
LUVAC8*/11-Mcychexan	0.0004	0.0006	-51.7930	0.0005	-49.0582	0.0003	11.7651
LUVAC9*/o-Xylene	7.403E-05	0.0001	-75.3364	0.0001	-66.3582	6.84E-05	7.6125
LUVAC10-C11*/n-Decane	4.379E-05	8.31E-05	-89.6874	7.99E-05	-82.5392	6.59E-05	-50.4466
LUVAC12*/n-C12	4.408E-06	7.08E-06	-60.5473	6.57E-06	-48.9530	1.01E-05	-129.0430
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	1.583E-06	2.54E-06	-60.6150	4.21E-06	-166.0123	4.72E-06	-198.4472

LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	4.291E-07	6.66E-07	-55.1346	1.13E-06	-162.3525	1.25E-06	-192.2574
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	8.483E-08	6.28E-08	25.9964	2.50E-07	-195.2399	8.95E-08	-5.4660
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	1.128E-08	3.81E-08	-237.3932	6.67E-08	-491.3121	2.97E-08	-163.4639
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	2.987E-10	4.10E-09	-1271.6648	7.48E-09	-2403.8722	3.85E-09	-1188.4377
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	1.491E-12	9.31E-13	37.5676	1.96E-10	-13068.8897	3.06E-11	-1949.4477
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	6.101E-20	1.97E-19	-222.1293	3.11E-15	-5103944.8979	2.29E-15	-3746092.4846

Πίνακας 83 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων ελαφριού ρεύματος του Aasta Hansteen (PR και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού)

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα ίδια αποτελέσματα με το UMR_new και με την χρήση και των 3 χαρακτηρισμών:

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)	STATOIL	UMR1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	UMR2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	UMR3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	17.0539	17.0915	-0.2200	17.0924	-0.2253	17.0595	-0.0327
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	3.241E-05	5.88E-05	-81.2974	5.88E-05	-81.3101	5.87E-05	-81.1255
Nitrogen	0.0098	0.0098	0.0416	0.0098	0.0423	0.0098	0.0094
CO2	0.0050	0.0050	0.0402	0.0050	0.0413	0.0050	0.0091
Methane	0.9497	0.9493	0.0407	0.9493	0.0414	0.9496	0.0086
Ethane	0.0286	0.0286	0.0409	0.0286	0.0419	0.0286	0.0150
Propane	0.0015	0.0015	0.0195	0.0015	0.0223	0.0015	0.0313
i-Butane	0.0022	0.0022	-0.0618	0.0022	-0.0609	0.0022	0.0393
n-Butane	0.0004	0.0004	-0.1663	0.0004	-0.1782	0.0004	-0.0121
i-Pentane	0.0009	0.0009	-0.6723	0.0009	-0.7162	0.0009	-0.2817
n-Pentane	0.0003	0.0003	-0.7074	0.0003	-0.7770	0.0003	-0.2149
LUVAC6*/ 3-Mpentane	0.0006	0.0006	-3.7487	0.0006	-3.9214	0.0007	-8.1632
Benzene	1.685E-06	1.78E-06	-5.5118	1.77E-06	-5.0691	1.72E-06	-2.1129
Toluene	5.345E-06	6.18E-06	-15.5745	6.11E-06	-14.3697	5.78E-06	-8.0661
E-Benzene	1.213E-06	1.45E-06	-19.9754	1.42E-06	-17.3521	1.30E-06	-6.9327
LUVAC7*/n-Heptane	0.0006	0.0007	-20.0474	0.0007	-20.3629	0.0007	-9.7394
LUVAC8*/11-Mcychexan	0.0004	0.0005	-42.7193	0.0005	-43.2672	0.0003	16.1538
LUVAC9*/o-Xylene	7.403E-05	0.0001	-58.4807	0.0001	-54.2861	6.51E-05	12.1139
LUVAC10-C11*/n-Decane	4.379E-05	6.54E-05	-49.4083	6.23E-05	-42.3401	5.59E-05	-27.6287
LUVAC12*/n-C12	4.408E-06	4.00E-06	9.2737	3.10E-06	29.6846	7.96E-06	-80.6232
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	1.583E-06	1.38E-06	12.8707	7.72E-06	-387.6367	2.84E-06	-79.3418
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	4.291E-07	4.39E-07	-2.2560	2.12E-06	-392.9095	7.51E-07	-75.0113

LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	8.483E-08	1.89E-08	77.7083	6.17E-07	-627.0033	2.68E-08	68.4399
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	1.128E-08	2.56E-09	77.2627	1.23E-08	-9.3911	7.75E-09	31.2837
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	2.987E-10	3.14E-09	-951.9082	3.37E-10	-12.6859	1.19E-10	60.2644
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	1.491E-12	5.22E-12	-249.8993	6.15E-12	-312.5254	8.40E-11	-5532.0137
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	6.101E-20	5.33E-19	-772.9528	1.04E-14	-17091575.0041	4.22E-17	-69083.2360

Πίνακας 84 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων ελαφριού ρεύματος του Aasta Hansteen (UMR_new και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού)

Επειδή όπως έχει αναφερθεί ξανά κάθε σφάλμα δεν έχει την ίδια βαρύτητα θα παρουσιασθούν σταθμικοί μέσοι των σφαλμάτων οι οποίοι θα σταθμίζουν την αξία του σφάλματος ανάλογα με την συγκέντρωση του συστατικού στο μίγμα.

Τα αποτελέσματα για το ρεύμα Export Gas με όλα τα μοντέλα και τις μεθόδους χαρακτηρισμού συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Σταθμικός μέσος σφαλμάτων	Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)
SRK1	0.09
SRK2	0.08
SRK3	0.02
PR1	0.13
PR2	0.12
PR3	0.05
UMR1	0.10
UMR2	0.10
UMR3	0.03

Πίνακας 85 Σύγκριση σταθμικού μέσου αποκλίσεων από την προσομοίωση της Statoil για το Aasta Hansteen (ελαφρύ ρεύμα-Export Gas)

Παρατηρούμε πως γενικώς ο τρίτος χαρακτηρισμός δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα ενώ η SRK και το UMR_new δίνουν σχεδόν ίδια εικόνα πρόβλεψης ενώ ακολουθεί η Peng Robinson.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα για το ρεύμα του Condensate με SRK, PR και UMR_new και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμούς. Αρχικά θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του ρεύματος Condensate με SRK (default kij) και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού.

Ρεύμα συμπυκνώματος (Condensate)	STATOIL	SRK1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	142.1897	154.8557	-8.9078	146.8218	-3.2577	142.8122	-0.4378
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0553	0.0625	-13.0797	0.0591	-6.9004	0.0575	-3.9328
Nitrogen	8.45E-07	1.85E-06	-118.7472	1.67E-06	-97.4951	1.63E-06	-92.1879
CO2	0.0001	0.0001	-24.4625	0.0001	-21.1965	0.0002	-25.2871
Methane	0.0020	0.0024	-18.4091	0.0024	-16.6583	0.0024	-18.1069
Ethane	0.0034	0.0030	10.4201	0.0032	6.6167	0.0032	4.1106
Propane	0.0019	0.0017	11.0485	0.0017	6.6165	0.0018	4.6573
i-Butane	0.0091	0.0088	2.4352	0.0092	-1.0470	0.0093	-2.5855
n-Butane	0.0025	0.0023	8.1474	0.0023	4.3875	0.0024	2.9121
i-Pentane	0.0170	0.0165	2.9174	0.0169	0.1328	0.0170	-0.0228
n-Pentane	0.0061	0.0058	4.6299	0.0060	1.7442	0.0060	1.6707
LUVAC6*/ 3-Mpentane	0.0394	0.0345	12.4247	0.0354	10.2912	0.0284	28.0862
Benzene	0.0002	0.0001	23.9465	0.0001	19.6516	0.0002	18.5621
Toluene	0.0015	0.0013	10.4993	0.0014	6.8769	0.0014	7.4042
E-Benzene	0.0007	0.0007	3.0444	0.0007	0.2716	0.0007	4.0190
LUVAC7*/n-Heptane	0.1468	0.1170	20.3506	0.1190	18.9482	0.1175	19.9639
LUVAC8*/11-Mcychexan	0.1697	0.1334	21.3779	0.1358	19.9433	0.1999	-17.7951
LUVAC9*/o-Xylene	0.0738	0.0677	8.2554	0.0696	5.7373	0.0797	-7.9246
LUVAC10-C11*/n-Decane	0.1237	0.1359	-9.8936	0.1356	-9.6330	0.1232	0.4071
LUVAC12*/n-C12	0.0484	0.0565	-16.7670	0.0560	-15.8565	0.0480	0.6893
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	0.0529	0.0620	-17.1775	0.0609	-15.1039	0.0530	-0.2603
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	0.0533	0.0625	-17.1853	0.0617	-15.7058	0.0538	-1.0067
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	0.0463	0.0543	-17.2190	0.0536	-15.8585	0.0469	-1.2375
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	0.0606	0.0709	-16.9961	0.0702	-15.8376	0.0613	-1.1504
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	0.0321	0.0375	-17.0743	0.0371	-15.7733	0.0324	-1.1640
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	0.0321	0.0376	-17.1492	0.0371	-15.8505	0.0324	-1.1854
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	0.0214	0.0250	-17.1500	0.0248	-15.8647	0.0216	-1.1650

Πίνακας 86 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων συμπυκνώματος του Aasta Hansteen (SRK και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού)

Τα ίδια αποτελέσματα παρουσιάζονται με την καταστατική εξίσωση Peng Robinson (με default συντελεστές αλληλεπίδρασης) και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

Ρεύμα συμπυκνώματος (Condensate)	STATOIL	PR1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	142.1897	157.8625	-11.0225	149.2072	-4.9353	145.0092	-1.9829
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0553	0.0622	-12.5907	0.0586	-6.0543	0.0571	-3.2407
Nitrogen	8.45E-07	1.97E-06	-132.4616	1.77E-06	-108.6661	1.56E-06	-84.6313
CO2	0.0001	0.0002	-43.5039	0.0002	-43.7711	0.0002	-53.1259
Methane	0.0020	0.0026	-27.7064	0.0026	-26.5921	0.0025	-26.4555
Ethane	0.0034	0.0032	5.8671	0.0033	1.1510	0.0033	1.2878
Propane	0.0019	0.0017	9.5322	0.0018	4.3735	0.0017	6.5212
i-Butane	0.0091	0.0090	1.2129	0.0094	-3.2031	0.0095	-5.0385
n-Butane	0.0025	0.0022	9.4403	0.0023	4.8730	0.0024	3.2597
i-Pentane	0.0170	0.0150	11.4091	0.0156	8.0541	0.0156	7.7391
n-Pentane	0.0061	0.0056	8.9967	0.0058	5.3251	0.0058	5.0863
LUVAC6*/ 3-Mpentane	0.0394	0.0323	18.1191	0.0334	15.4216	0.0266	32.4973
Benzene	0.0002	0.0001	28.2399	0.0001	23.5408	0.0001	23.1114
Toluene	0.0015	0.0012	15.5880	0.0013	11.5540	0.0013	12.4021
E-Benzene	0.0007	0.0007	8.1033	0.0007	4.8375	0.0007	8.4133
LUVAC7*/n-Heptane	0.1468	0.1090	25.7607	0.1116	24.0088	0.1070	27.1356
LUVAC8*/11-Mcychexan	0.1697	0.1249	26.4082	0.1278	24.6690	0.1962	-15.6428
LUVAC9*/o-Xylene	0.0738	0.0663	10.1109	0.0685	7.2161	0.0805	-9.0033
LUVAC10-C11*/n-Decane	0.1237	0.1355	-9.5098	0.1352	-9.3148	0.1232	0.4076
LUVAC12*/n-C12	0.0484	0.0587	-21.3405	0.0582	-20.2950	0.0494	-2.0848
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	0.0529	0.0651	-23.0873	0.0635	-20.1126	0.0552	-4.3241
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	0.0533	0.0660	-23.8033	0.0649	-21.7351	0.0565	-6.0142
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	0.0463	0.0575	-24.1519	0.0566	-22.2233	0.0494	-6.6627
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	0.0606	0.0750	-23.8859	0.0741	-22.3059	0.0646	-6.6259
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	0.0321	0.0398	-24.0028	0.0392	-22.3546	0.0342	-6.6496
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	0.0321	0.0398	-24.1261	0.0392	-22.3645	0.0342	-6.6541
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	0.0214	0.0265	-24.1275	0.0262	-22.3648	0.0228	-6.6542

Πίνακας 87 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων συμπυκνώματος του Aasta Hansteen (PR και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού)

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με το UMR_new και με την χρήση και των 3 χαρακτηρισμών:

Ρεύμα συμπυκνώματος (Condensate)	STATOIL	UMR1	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	UMR2	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	UMR3	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μοριακό Βάρος	142.1897	154.9480	-8.9727	147.5832	-3.7932	143.7514	-1.0983
Περιεκτικότητα ανά συστατικό							
H2O	0.0553	0.0578	-4.5057	0.0550	0.5843	0.0533	3.6578
Nitrogen	8.45E-07	6.42E-07	24.0746	6.13E-07	27.4788	5.94E-07	29.8221
CO2	0.0001	0.0001	-2.7387	0.0001	-7.1225	0.0001	-9.7416
Methane	0.0020	0.0020	0.9779	0.0020	0.0379	0.0020	-1.7425
Ethane	0.0034	0.0043	-27.5377	0.0044	-29.2903	0.0045	-31.8719
Propane	0.0019	0.0019	-2.7160	0.0019	-3.0032	0.0019	-2.7600
i-Butane	0.0091	0.0095	-5.0542	0.0096	-5.9002	0.0094	-4.1479
n-Butane	0.0025	0.0025	-2.6213	0.0025	-3.2973	0.0025	-0.8995
i-Pentane	0.0170	0.0170	-0.1669	0.0170	-0.3031	0.0164	3.3338
n-Pentane	0.0061	0.0063	-2.8816	0.0063	-2.7114	0.0061	1.1536
LUVAC6*/ 3-Mpentane	0.0394	0.0362	8.3154	0.0360	8.8147	0.0220	44.1293
Benzene	0.0002	0.0002	5.1214	0.0002	3.0993	0.0002	4.8965
Toluene	0.0015	0.0013	7.6512	0.0014	5.2811	0.0013	8.6497
E-Benzene	0.0007	0.0008	-2.7777	0.0008	-5.0926	0.0007	1.8344
LUVAC7*/n-Heptane	0.1468	0.1196	18.5279	0.1195	18.6113	0.1284	12.5709
LUVAC8*/11-Mcychexan	0.1697	0.1318	22.3196	0.1318	22.3260	0.1951	-14.9789
LUVAC9*/o-Xylene	0.0738	0.0678	8.0947	0.0695	5.8015	0.0788	-6.7684
LUVAC10-C11*/n-Decane	0.1237	0.1352	-9.3030	0.1373	-10.9797	0.1225	1.0034
LUVAC12*/n-C12	0.0484	0.0566	-17.1218	0.0573	-18.5775	0.0484	-0.0608
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	0.0529	0.0619	-16.9661	0.0596	-12.6391	0.0539	-1.9097
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	0.0533	0.0623	-16.8273	0.0619	-16.1905	0.0547	-2.5820
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	0.0463	0.0541	-16.9657	0.0542	-17.1043	0.0476	-2.9118
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	0.0606	0.0708	-16.8808	0.0712	-17.5516	0.0623	-2.8402
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	0.0321	0.0375	-16.8886	0.0377	-17.5702	0.0330	-2.8539
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	0.0321	0.0375	-16.8931	0.0377	-17.5707	0.0330	-2.8540
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	0.0214	0.0250	-16.8932	0.0251	-17.5707	0.0220	-2.8541

Πίνακας 88 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων συμπυκνώματος του Aasta Hansteen (UMR_new και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού)

Όπως και στο ελαφρύ ρεύμα (Export Gas) έτσι και στο ρεύμα του συμπυκνώματος (Condensate) θα παρουσιάσουμε στην συνέχεια τον πίνακα σταθμικών αποκλίσεων για να βρεθεί το καλύτερο μοντέλο και η καλύτερη μέθοδος χαρακτηρισμού για το ρεύμα Condensate.

Σταθμικός μέσος σφαλμάτων	Ρεύμα συμπυκνώματος
SRK1	15.55
SRK2	13.87
SRK3	8.06
PR1	19.89
PR2	17.88
PR3	10.17
UMR1	14.61
UMR2	14.42
UMR3	7.44

Πίνακας 89 Σύγκριση σταθμικού μέσου αποκλίσεων από την προσομοίωση της Statoil για το Aasta Hansteen (Ρεύμα συμπυκνώματος-Condensate)

Παρατηρούμε πως η τρίτη μέθοδος χαρακτηρισμού που βασίζεται στο μοριακό βάρος αποτυπώνει καλύτερα συνολικά το ρεύμα Condensate. Το καλύτερο μοντέλο είναι το UMR_new ενώ από κοντά βρίσκεται και η SRK με την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού. Εν συνεχεία θα παρουσιασθούν οι αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν στην πρόβλεψη των συστάσεων των ρευμάτων εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος (export gas) και του συμπυκνώματος (Condensate). Αρχικά θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για τα ρεύματα εμπλουτισμού του Export Gas.

Ρεύμα 17 (%Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	-0.5078	-0.4771	-0.3881	0.0334	0.0787	0.1096	-1.0304	-0.9237	-0.6395
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-11.5349	-8.3783	-6.841	-0.3037	3.1038	3.3917	-14.2789	-10.0818	-8.4867
Nitrogen	-22.9677	-19.5009	-17.813	-23.9543	-20.037	-14.9704	7.9176	9.3141	10.9804
CO2	-1.9292	-1.1831	-1.86	-4.4593	-4.3587	-6.5542	0.6672	-0.2244	-0.6226
Methane	-0.164	-0.112	-0.0965	-0.5607	-0.5164	-0.5028	0.7584	0.6751	0.6025
Ethane	6.1014	4.8647	4.4083	8.07	6.8691	6.7559	-5.6591	-5.3772	-5.5163
Propane	1.5005	0.8557	0.8798	5.9927	5.497	5.9002	-1.4474	-0.5624	0.2805
i-Butane	-4.1415	-3.8331	-2.91	2.5777	3.1985	3.4071	-3.9255	-2.6018	-0.8413
n-Butane	-5.4057	-4.7922	-3.5339	2.067	3.0676	3.4877	-4.2007	-2.4775	-0.3568

i-Pentane	-9.562	-8.0891	-5.6949	-0.697	1.283	2.413	-8.3158	-6.2862	-3.111
n-Pentane	-10.6465	-8.8846	-6.3447	-0.6058	1.7304	2.992	-6.7606	-4.4735	-1.3217
LUVAC6*/ 3-Mpentane	-23.8095	-21.1259	-46.1241	-12.3439	-9.1865	-34.3788	-19.3282	-16.8305	-32.2026
Benzene	-22.7216	-17.8892	-14.5386	-18.1673	-12.8304	-10.5505	-9.945	-5.4029	-0.7759
Toluene	-42.3515	-34.5107	-26.9909	-37.1254	-28.9808	-23.0755	-26.1169	-21.3886	-13.1078
E-Benzene	-47.6436	-37.3895	-26.733	-44.5282	-34.0092	-25.1381	-29.3619	-23.9313	-11.916
LUVAC7*/n-Heptane	-29.1458	-24.9103	-37.4569	-18.9277	-14.4581	-26.1866	-24.1711	-21.8777	-20.4739
LUVAC8*/11-Mcychexan	-71.4186	-64.5077	8.0921	-61.3248	-54.166	6.0466	-64.447	-62.1091	13.5164
LUVAC9*/o-Xylene	-141.3358	-122.6001	-3.5054	-145.3696	-125.1003	-8.6518	-123.5926	-113.9904	1.5318
LUVAC10-C11*/n-Decane	-42.8637	-35.9173	-21.4449	-52.5663	-44.1708	-30.6097	-41.1682	-38.9216	-23.9019
LUVAC12*/n-C12	18.4712	21.9362	-78.6702	11.0737	15.5576	-90.908	33.0244	35.01	-70.9905
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	36.9043	-65.9075	-83.0287	29.6237	-90.2756	-100.7892	42.5633	-378.0706	-51.8658
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	51.5474	-33.6	-50.2944	44.9545	-52.4152	-68.6112	40.676	-286.9533	-36.8242
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	79.7017	-23.2331	47.6731	76.5133	-42.5687	39.5139	81.2266	-361.3382	59.2343
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	55.4586	3.5662	15.5791	47.4804	-10.6614	1.787	80.1483	14.5727	26.8894
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	-247.8108	-23.815	-11.4883	-345.6725	-47.093	-33.8875	-344.8157	29.8937	40.4195
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	97.6401	-51.0416	47.076	97.2039	-79.8444	35.7745	71.8248	29.3688	-375.4289
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	99.9349	16.4734	20.7675	99.9487	8.5035	11.8262	99.0882	-1199.9232	-973.9849

Πίνακας 90 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 17 (εμπλουτισμού Export Gas του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Αρχικά θα παρουσιασθούν οι πίνακες που θα συγκεντρώνουν τις αποκλίσεις με κάθε μοντέλο και μέθοδο χαρακτηρισμού για τα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος (Ρεύμα 17, Ρεύμα 23,Ρεύμα 49). Τα ρεύματα αυτά όπως είναι εύκολα κατανοητό αναμένονται να έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση στα ελαφρύτερα συστατικά.

Ακολουθεί ο πίνακας των % αποκλίσεων για το Ρεύμα 23:

Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας των αποκλίσεων για το ρεύμα 23

Ρεύμα 23 (%Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	-0.5078	-0.4771	-0.3881	0.0334	0.0787	0.1096	-1.0304	-0.9237	-0.6395
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-11.5349	-8.3783	-6.841	-0.3037	3.1038	3.3917	-14.2789	-10.0818	-8.4867
Nitrogen	-22.9677	-19.5009	-17.813	-23.9543	-20.037	-14.9704	7.9176	9.3141	10.9804
CO2	-1.9292	-1.1831	-1.86	-4.4593	-4.3587	-6.5542	0.6672	-0.2244	-0.6226
Methane	-0.164	-0.112	-0.0965	-0.5607	-0.5164	-0.5028	0.7584	0.6751	0.6025
Ethane	6.1014	4.8647	4.4083	8.07	6.8691	6.7559	-5.6591	-5.3772	-5.5163
Propane	1.5005	0.8557	0.8798	5.9927	5.497	5.9002	-1.4474	-0.5624	0.2805
i-Butane	-4.1415	-3.8331	-2.91	2.5777	3.1985	3.4071	-3.9255	-2.6018	-0.8413
n-Butane	-5.4057	-4.7922	-3.5339	2.067	3.0676	3.4877	-4.2007	-2.4775	-0.3568
i-Pentane	-9.562	-8.0891	-5.6949	-0.697	1.283	2.413	-8.3158	-6.2862	-3.111
n-Pentane	-10.6465	-8.8846	-6.3447	-0.6058	1.7304	2.992	-6.7606	-4.4735	-1.3217
LUVAC6*/ 3-Mpentane	-23.8095	-21.1259	-46.1241	-12.3439	-9.1865	-34.3788	-19.3282	-16.8305	-32.2026
Benzene	-22.7216	-17.8892	-14.5386	-18.1673	-12.8304	-10.5505	-9.945	-5.4029	-0.7759
Toluene	-42.3515	-34.5107	-26.9909	-37.1254	-28.9808	-23.0755	-26.1169	-21.3886	-13.1078
E-Benzene	-47.6436	-37.3895	-26.733	-44.5282	-34.0092	-25.1381	-29.3619	-23.9313	-11.916
LUVAC7*/n-Heptane	-29.1458	-24.9103	-37.4569	-18.9277	-14.4581	-26.1866	-24.1711	-21.8777	-20.4739
LUVAC8*/11-Mcychexan	-71.4186	-64.5077	8.0921	-61.3248	-54.166	6.0466	-64.447	-62.1091	13.5164
LUVAC9*/o-Xylene	-141.3358	-122.6001	-3.5054	-145.3696	-125.1003	-8.6518	-123.5926	-113.9904	1.5318
LUVAC10-C11*/n-Decane	-42.8637	-35.9173	-21.4449	-52.5663	-44.1708	-30.6097	-41.1682	-38.9216	-23.9019
LUVAC12*/n-C12	18.4712	21.9362	-78.6702	11.0737	15.5576	-90.908	33.0244	35.01	-70.9905
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	36.9043	-65.9075	-83.0287	29.6237	-90.2756	-100.7892	42.5633	-378.0706	-51.8658
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	51.5474	-33.6	-50.2944	44.9545	-52.4152	-68.6112	40.676	-286.9533	-36.8242
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	79.7017	-23.2331	47.6731	76.5133	-42.5687	39.5139	81.2266	-361.3382	59.2343
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	55.4586	3.5662	15.5791	47.4804	-10.6614	1.787	80.1483	14.5727	26.8894
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	-247.8108	-23.815	-11.4883	-345.6725	-47.093	-33.8875	-344.8157	29.8937	40.4195
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	97.6401	-51.0416	47.076	97.2039	-79.8444	35.7745	71.8248	29.3688	-375.4289
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	99.9349	16.4734	20.7675	99.9487	8.5035	11.8262	99.0882	-1199.9232	-973.9849

Πίνακας 91 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 23 (εμπλουτισμού Export Gas του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Ακολουθεί ο πίνακας των % αποκλίσεων για το ρεύμα 49:

Ρεύμα 49 (%Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	-2.1355	-2.4257	-2.5558	-1.4027	-1.4775	-1.734	-3.6174	-3.423	-3.5281
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-176.2692	-170.2072	-171.3916	-153.3641	-146.4699	-150.7203	-184.1629	-176.103	-177.6248
Nitrogen	10.1595	12.8901	14.254	9.3698	12.3855	16.2808	33.5447	34.5789	35.9071
CO2	-12.745	-11.6482	-12.4525	-16.2994	-16.1743	-18.9163	-7.8439	-9.0175	-9.308
Methane	1.4945	1.7296	1.8409	0.9686	1.1085	1.2532	3.2169	3.1048	3.1755
Ethane	-4.2211	-5.9232	-6.4456	-2.2157	-3.9409	-3.975	-20.4505	-20.3504	-20.4422
Propane	-6.7027	-9.0811	-8.7424	-1.7876	-3.3271	-2.7024	-15.3746	-14.2639	-13.2514
i-Butane	-9.2407	-11.7003	-10.4855	-2.6164	-3.0221	-3.9597	-14.8908	-13.2619	-12.0517
n-Butane	-6.1028	-8.7434	-7.4805	1.1983	1.0108	0.01	-12.2483	-10.4608	-9.6412
i-Pentane	-2.6434	-4.78	-5.0039	5.5598	6.4064	4.3673	-8.1382	-5.8377	-7.5351
n-Pentane	-0.5226	-2.4456	-3.3028	6.7784	7.7162	5.2453	-4.8349	-2.5528	-5.8355
LUVAC6*/ 3-Mpentane	-9.3354	-12.1366	-44.2923	-3.5793	-4.0185	-35.2202	-16.2382	-13.9427	-44.8478
Benzene	-10.5986	-9.8737	-8.2278	-11.8559	-9.0042	-8.6081	-14.3784	-11.9756	-16.1439
Toluene	-110.2627	-102.9169	-93.9084	-114.668	-105.5582	-97.3902	-103.7269	-99.1941	-100.0157
E-Benzene	-430.3242	-397.5654	-370.078	-445.3976	-412.103	-385.2334	-406.7596	-391.9777	-371.3544
LUVAC7*/n-Heptane	-63.9056	-64.3686	-82.8495	-61.3844	-60.3939	-77.2116	-72.1183	-69.8837	-87.6933
LUVAC8*/11-Mcychexan	-320.3114	-313.2069	-96.3259	-319.0567	-310.7259	-109.3112	-329.517	-325.6108	-101.1948
LUVAC9*/o-Xylene	-1774.4657	-1605.0311	-623.4775	-1896.6049	-1714.915	-684.5487	-1684.3025	-1628.8103	-648.4166
LUVAC10-C11*/n-Decane	-6065.2713	-5726.0327	-5333.4803	-6650.5985	-6281.5028	-5949.9822	-5968.7581	-5904.324	-5460.8269
LUVAC12*/n-C12	-36959.329	-35002.45	-83748.863	-40561.953	-37821.632	-91081.065	-29828.571	-29081.621	-80110.97
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	-1.69E+05	-4.41E+05	-4.88E+05	-1.89E+05	-5.01E+05	-5.41E+05	-1.51E+05	-1.30E+06	-4.10E+05
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	-8.99E+05	-2.46E+06	-2.57E+06	-1.02E+06	-2.61E+06	-2.89E+06	-1.08E+06	-7.20E+06	-2.53E+06
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	-2.92E+06	-1.76E+07	-4.39E+06	-3.38E+06	-1.63E+07	-5.07E+06	-2.66E+06	-6.62E+07	-5.80E+06
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	-1.20E+08	-2.58E+08	-7.69E+07	-1.42E+08	-1.35E+08	-9.05E+07	-5.28E+07	-2.29E+08	-1.95E+08
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	-2.95E+10	-1.04E+10	-1.20E+09	-3.78E+10	-2.16E+09	-1.56E+09	-3.73E+10	-5.89E+09	-5.00E+09
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	-2.95E+10	-1.87E+12	-3.74E+09	-3.49E+10	-4.20E+10	-5.13E+09	-3.47E+11	-8.75E+11	-5.88E+12
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	-8.31E+14	-1.06E+18	-1.09E+13	-6.55E+14	-1.22E+13	-1.37E+13	-1.15E+16	-1.65E+19	-1.36E+19

Πίνακας 92 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 49 (εμπλουτισμού Export Gas του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Οι αποκλίσεις που παρατηρούμε στα συγκεκριμένα ρεύματα είναι μεγάλες. Οι λόγοι που πιθανόν προκαλούν τις διαφορές αυτές είναι αρχικά η απλοποίηση της μορφής της προσομοίωσης σε σχέση με αυτή της Statoil. Τα ρεύματα και οι διεργασίες που κόπηκαν αλλοιώνουν ίσως την εικόνα της μονάδας αλλά λόγω των μικρών μολαρικών ροών δεν

αποτελούν εμπόδιο στην πρόβλεψη των βασικών ρευμάτων εξόδου. Για να είναι πιο σωστές οι προσεγγίσεις μας και όχι μόνο ποιοτικές θα παρουσιάσουμε στην συνέχεια πίνακα με τους σταθμικούς μέσους των σφαλμάτων για τα πιο πάνω ρεύματα.

Σταθμικοί Μέσοι Αποκλίσεων	Ρεύμα 17	Ρεύμα 23	Ρεύμα 49	Μέσος Όρος
SRK1	1.05	7.96	265.92	91.65
SRK2	0.84	8.25	59907.89	19972.32
SRK3	0.77	9.63	8.50	6.30
PR1	1.43	13.93	430.38	148.58
PR2	1.28	14.73	12.00	9.34
PR3	1.28	15.64	8.76	8.56
UMR1	1.48	7.23	444.74	151.15
UMR2	1.32	9.17	1.43E+07	4.77E+06
UMR3	1.19	12.59	9.7E+06	3.25E+06

Πίνακας 93 Σταθμικοί μέσοι αποκλίσεων στις συστάσεις ρευμάτων εμπλουτισμού Export Gas του Aasta Hansteen (με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς)

Παρατηρούμε πως το ρεύμα που δημιουργεί γενικά τις μεγαλύτερες αποκλίσεις είναι το ρεύμα 49. Τα άλλα δύο ρεύματα έχουν πολύ πιο κοντινές προσεγγίσεις. Εξαίρεση η προσομοίωση με Peng Robinson (πρώτο και δεύτερο χαρακτηρισμό) και SRK (με δεύτερο χαρακτηρισμό) στις οποίες τα σφάλματα είναι πολύ μικρότερα.

Στην συνέχεια θα παρουσιασθούν οι πίνακες που θα συγκεντρώνουν τις αποκλίσεις με κάθε μοντέλο και μέθοδο χαρακτηρισμού για τα ρεύματα εμπλουτισμού του συμπυκνώματος (Ρεύμα 48, Ρεύμα 41,Ρεύμα 35). Τα ρεύματα αυτά όπως είναι εύκολα κατανοητό αναμένονται να έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση στα ελαφρύτερα συστατικά.

Ακολουθεί ο πίνακας των % αποκλίσεων για το Ρεύμα 48:

Ρεύμα 48 (%Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	9.23	9.23	-0.84	9.22	9.22	9.22	9.23	9.23	4.20
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-2.45	-2.45	0.20	-2.45	-2.45	-2.45	-2.28	-2.28	-1.02
Nitrogen	85.09	85.09	-22.90	66.06	66.06	66.06	72.45	72.45	33.65
CO2	0.00	0.00	-89.25	-22.10	-22.10	-22.18	-25.39	-25.38	-65.49
Methane	100.00	100.00	-1.84	100.00	100.00	100.00	78.76	78.77	32.29
Ethane	100.00	100.00	1.85	100.00	100.00	100.00	94.80	94.80	43.45
Propane	100.00	100.00	0.06	100.00	100.00	100.00	98.84	98.84	50.88
i-Butane	100.00	100.00	-5.82	100.00	100.00	100.00	99.79	99.79	50.23
n-Butane	100.00	100.00	-3.70	100.00	100.00	100.00	99.79	99.79	50.82
i-Pentane	100.00	100.00	-8.03	100.00	100.00	100.00	99.97	99.97	51.03
n-Pentane	100.00	100.00	-7.57	100.00	100.00	100.00	99.96	99.96	49.82

LUVAC6*/ 3-Mpentane	100.00	100.00	14.75	100.00	100.00	100.00	99.99	99.99	68.88
Benzene	100.00	100.00	1.66	100.00	100.00	100.00	96.94	96.94	46.27
Toluene	100.00	100.00	-11.77	100.00	100.00	100.00	98.95	98.96	50.02
E-Benzene	100.00	100.00	-16.01	100.00	100.00	100.00	99.87	99.87	46.88
LUVAC7*/n-Heptane	100.00	100.00	6.48	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	53.73
LUVAC8*/11-Mcychexan	100.00	100.00	-42.41	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	38.67
LUVAC9*/o-Xylene	100.00	100.00	-28.38	100.00	100.00	100.00	99.68	99.68	42.74
LUVAC10-C11*/n-Decane	100.00	100.00	-9.60	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	46.72
LUVAC12*/n-C12	100.00	100.00	-7.44	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	46.28
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	100.00	100.00	-6.76	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	45.00
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	100.00	100.00	-6.69	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	44.21
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	100.00	100.00	0.71	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	46.70
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	100.00	100.00	2.73	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	47.33
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	100.00	100.00	-0.78	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	56.49
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	100.00	100.00	25.61	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	-42.59
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	100.00	100.00	-43.42	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	-324.87

Πίνακας 94 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 49 (εμπλουτισμού Condensate του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Στην συνέχεια θα παρουσιασθούν τα ίδια αποτελέσματα για το Ρεύμα 41:

Ρεύμα 41 (%Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	36.97	36.97	36.21	36.97	36.57	36.07	36.96	36.96	36.96
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	-15.41	-15.41	-15.13	-15.41	-15.27	-15.08	-15.39	-15.39	-15.39
Nitrogen	97.16	97.23	95.79	93.30	92.63	92.27	96.17	96.21	96.29
CO2	76.10	76.14	74.09	68.35	66.98	64.98	69.45	68.78	68.75
Methane	100.00	100.00	98.35	100.00	99.08	98.04	96.01	95.98	95.98
Ethane	100.00	100.00	98.18	100.00	99.05	97.92	98.80	98.79	98.79
Propane	100.00	100.00	98.07	100.00	99.03	97.92	99.74	99.75	99.75
i-Butane	100.00	100.00	97.94	100.00	98.96	97.59	99.96	99.96	99.96
n-Butane	100.00	100.00	98.03	100.00	99.04	97.74	99.96	99.96	99.96
i-Pentane	100.00	100.00	98.11	100.00	99.15	98.00	99.99	99.99	99.99
n-Pentane	100.00	100.00	98.18	100.00	99.14	97.95	99.99	99.99	99.99
LUVAC6*/ 3-Mpentane	100.00	100.00	98.73	100.00	99.33	98.57	100.00	100.00	100.00
Benzene	100.00	100.00	98.62	100.00	99.37	98.37	99.62	99.62	99.61
Toluene	100.00	100.00	98.51	100.00	99.30	98.22	99.88	99.88	99.88
E-Benzene	100.00	100.00	98.15	100.00	99.10	97.80	99.98	99.98	99.98

LUVAC7*/n-Heptane	100.00	100.00	98.91	100.00	99.50	98.76	100.00	100.00	100.00
LUVAC8*/11-Mcychexan	100.00	100.00	98.32	100.00	99.42	97.95	100.00	100.00	99.96
LUVAC9*/o-Xylene	100.00	100.00	97.78	100.00	98.89	97.26	99.95	99.95	100.00
LUVAC10-C11*/n-Decane	100.00	100.00	96.65	100.00	98.04	96.04	100.00	100.00	100.00
LUVAC12*/n-C12	100.00	100.00	90.62	100.00	94.37	88.86	100.00	100.00	100.00
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	100.00	100.00	78.80	100.00	83.78	74.99	100.00	100.00	100.00
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	100.00	100.00	48.00	100.00	58.40	39.11	100.00	100.00	100.00
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	100.00	100.00	15.59	100.00	-2.70	2.97	100.00	100.00	100.00
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	100.00	100.00	-116.14	100.00	-112.15	-148.24	100.00	100.00	100.00
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	100.00	100.00	-276.27	100.00	-326.19	-343.01	97.14	100.00	100.00
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	100.00	100.00	-103.41	100.00	-519.35	-144.58	100.00	100.00	100.00
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	100.00	100.00	-205.24	100.00	-220.42	-236.82	100.00	100.00	100.00

Πίνακας 95 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 41 (εμπλουτισμού Condensate του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Τέλος θα παρουσιασθούν τα ίδια αποτελέσματα για το Ρεύμα 35:

Ρεύμα 35 (%Αποκλίσεις)	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Μοριακό Βάρος	-7.64	-7.75	-0.89	-4.78	-4.83	0.97	-4.81	-5.85	6.11
Περιεκτικότητα ανά συστατικό									
H2O	7.20	7.29	2.92	4.74	4.75	1.06	5.47	5.94	-2.19
Nitrogen	80.36	81.76	88.13	81.89	83.32	89.97	92.07	92.28	95.32
CO2	-170.66	-165.08	-118.56	-174.50	-172.76	-147.64	-103.56	-109.74	-53.07
Methane	14.41	15.38	37.32	16.77	17.79	37.86	26.82	25.87	49.40
Ethane	-172.50	-179.46	-125.82	-154.17	-160.47	-105.66	-256.66	-260.62	-149.74
Propane	-219.92	-227.67	-168.33	-185.25	-191.49	-124.60	-241.56	-242.44	-137.26
i-Butane	-245.55	-249.61	-185.02	-210.58	-212.86	-162.59	-242.37	-244.22	-143.10
n-Butane	-216.79	-220.96	-170.99	-178.21	-180.33	-142.99	-216.28	-218.16	-126.74
i-Pentane	-188.88	-190.71	-148.83	-135.31	-134.86	-103.09	-167.07	-167.43	-101.24
n-Pentane	-167.34	-169.13	-135.20	-134.24	-134.00	-107.52	-158.59	-158.55	-99.40
LUVAC6*/ 3-Mpentane	-81.41	-82.23	-53.01	-62.47	-62.39	-35.29	-74.72	-74.73	-1.81
Benzene	-51.07	-52.05	-55.63	-44.23	-44.62	-47.17	-36.62	-38.47	-34.57
Toluene	-26.14	-25.35	-26.85	-25.41	-24.65	-25.41	0.09	-1.74	-2.37
E-Benzene	-12.59	-10.43	-8.81	-14.91	-12.98	-10.61	0.99	-0.39	-0.15
LUVAC7*/n-Heptane	1.54	1.35	3.26	6.84	6.72	10.50	2.31	1.68	8.62
LUVAC8*/11-Mcychexan	12.84	13.25	21.99	14.84	15.16	17.71	18.31	17.34	36.98
LUVAC9*/o-Xylene	-15.42	-12.49	26.67	-22.67	-19.64	20.32	12.09	10.51	28.81
LUVAC10-C11*/n-Decane	12.35	13.62	18.41	4.33	5.70	11.54	9.82	8.64	11.20
LUVAC12*/n-C12	42.78	43.60	-4.23	35.59	36.53	-14.19	44.53	44.52	-11.03
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	52.06	12.00	-1.80	45.12	-3.10	-13.87	50.13	-58.88	-3.42
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	60.41	24.49	10.84	54.12	11.65	-1.40	55.04	-39.11	3.48
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	78.70	29.46	58.64	75.03	16.78	52.02	78.62	-53.61	59.22

LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	66.00	36.83	41.91	59.62	25.89	32.33	74.00	38.28	42.03
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	-15.70	33.62	38.02	-45.50	20.12	26.06	-102.30	45.24	48.84
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	95.81	22.94	63.20	94.99	7.12	55.73	81.62	37.87	-31.35
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	99.67	52.00	53.78	99.69	44.31	46.63	98.47	-140.36	-118.06

Πίνακας 96 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 35 (εμπλουτισμού Condensate του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς

Οι αποκλίσεις που παρατηρούμε στα συγκεκριμένα ρεύματα είναι μεγάλες. Οι λόγοι που πιθανόν προκαλούν τις διαφορές αυτές είναι αρχικά η απλοποίηση της μορφής της προσομοίωσης σε σχέση με αυτή της Statoil. Τα ρεύματα και οι διεργασίες που κόπηκαν αλλοιώνουν ίσως την εικόνα της μονάδας αλλά λόγω των μικρών μολαρικών ροών δεν αποτελούν εμπόδιο στην πρόβλεψη των βασικών ρευμάτων εξόδου. Για να είναι πιο σωστές οι προσεγγίσεις μας και όχι μόνο ποιοτικές θα παρουσιάσουμε στην συνέχεια πίνακα με τους σταθμικούς μέσους των σφαλμάτων για τα πιο πάνω ρεύματα.

Σταθμικοί Μέσοι Αποκλίσεων	Ρεύμα 48	Ρεύμα 41	Ρεύμα 35	Μέσος Όρος
SRK1	2.45	15.41	23.48	13.78
SRK2	2.45	15.41	23.85	13.90
SRK3	0.53	15.32	15.03	10.29
PR1	2.45	15.41	17.08	11.65
PR2	2.45	15.36	17.09	11.63
PR3	2.45	15.31	10.27	9.34
UMR1	2.41	15.40	21.34	13.05
UMR2	2.41	15.40	21.72	13.18
UMR3	1.59	15.40	10.03	9.01

Πίνακας 97 Σταθμικοί μέσοι αποκλίσεων στις συστάσεις ρευμάτων εμπλουτισμού Condensate του Aasta Hansteen (με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς)

Παρατηρούμε από τον πιο πάνω πίνακα πως η σημασία των αποκλίσεων λόγω των μικρών συγκεντρώσεων είναι μικρή παρά το μέγεθος της απόκλισης. Το UMR_new με την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα συνολικά. Αυτό συμφωνεί και με το πιο πάνω συμπέρασμά μας για το ρεύμα Condensate.

8.4.3 Ενεργειακή ανάλυση της μονάδας Aasta Hansteen

Στο σημείο αυτό θα γίνει διερεύνηση της πρόβλεψης ενεργειακών αναγκών του μηχανολογικού εξοπλισμού για την μονάδα του Aasta Hansteen. Έτσι θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα ενεργειακών παροχών για κάθε κομμάτι του μηχανολογικού εξοπλισμού (εναλλάκτες θερμότητας, αντλίες και συμπιεστές) με SRK, PR και UMR_new και όλους τους χαρακτηρισμούς. Τα αποτελέσματα θα συγκριθούν μεταξύ τους στην συνέχεια.

Είδη μηχανολογικού εξοπλισμού στο Aasta Hansteen

Στην προσομοίωση του Aasta Hansteen χρησιμοποιήσαμε 10 εναλλάκτες θερμότητας, 2 αντλίες καθώς και 4 συμπιεστές. Οι προσομοιώσεις έγιναν με χρήση SRK, PR και UMR_new. Τα ενεργειακά αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν συγκρίνονται με τα δεδομένα της προσομοίωσης της Statoil και υπολογίζονται με βάση αυτά οι αποκλίσεις.

Αποτελέσματα

Οι αναλυτικοί πίνακες για τις ενεργειακές απαιτήσεις ισχύος κάθε στοιχείου μηχανολογικού εξοπλισμού (εναλλακτών θερμότητας, αντλιών, συμπιεστών) και η πρόβλεψη με κάθε μοντέλο και μέθοδο χαρακτηρισμού θα παρουσιαστούν σε παράρτημα. Εδώ θα παρουσιάσουμε την μέση απόκλιση ανά είδος μηχανολογικού εξοπλισμού και μέθοδο χαρακτηρισμού:

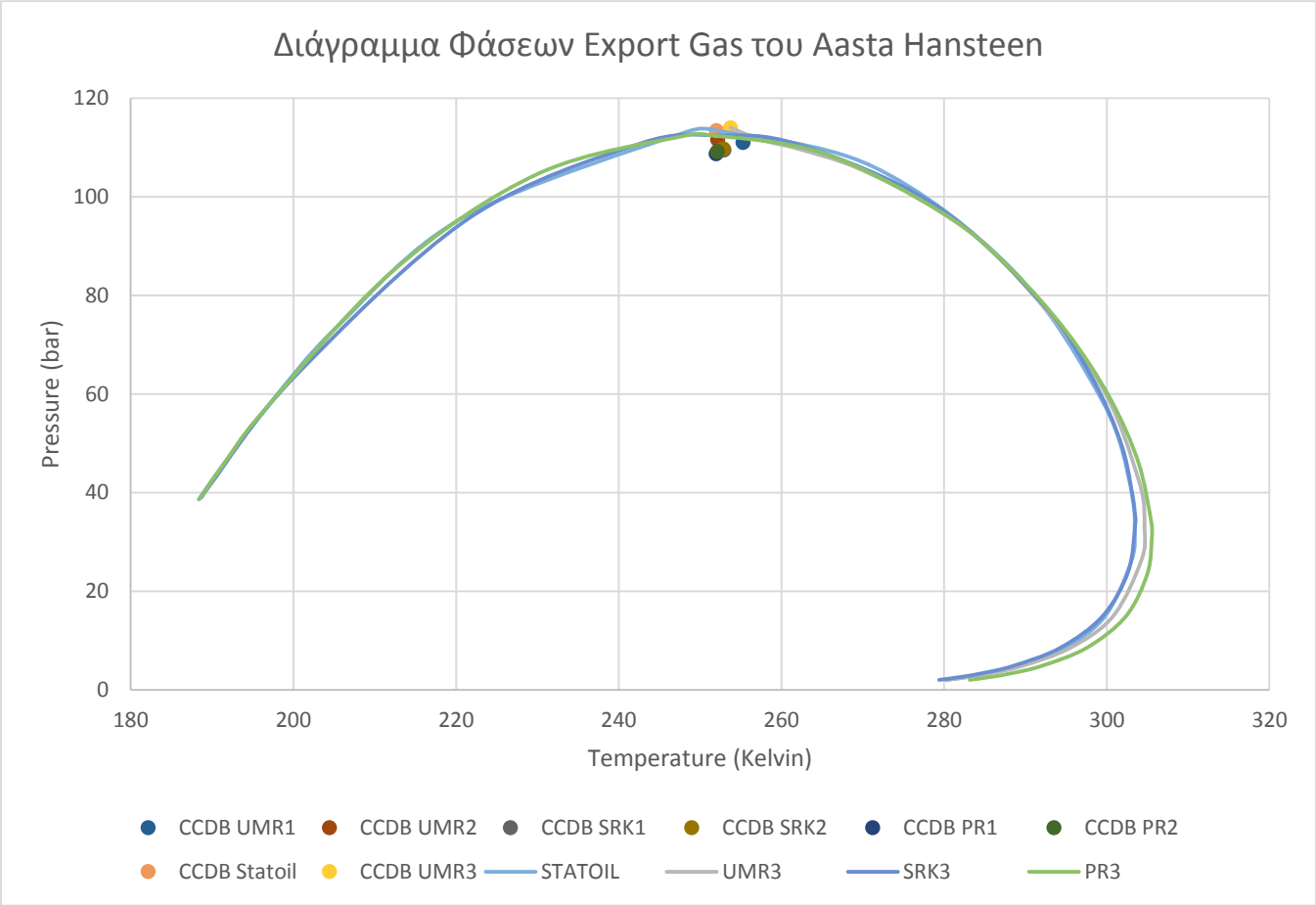
Μέση απόκλιση ανά Μονάδα Διεργασίας (%)									
	SRK1	SRK2	SRK3	PR1	PR2	PR3	UMR1	UMR2	UMR3
Εναλλάκτης Θερμότητας	17.11	18.50	13.91	29.47	30.71	26.74	19.61	21.69	20.52
Αντλία	26.67	29.05	29.52	37.16	39.15	37.06	22.67	27.34	31.04
Συμπιεστής	35.72	35.74	60.34	30.10	30.62	37.90	35.58	34.38	41.23
Μέσος Όρος	26.50	27.76	34.59	32.24	33.49	33.90	25.95	27.81	30.93

Πίνακας 98 Μέση απόκλιση πρόβλεψης ενεργειακών απαιτήσεων ανά είδος μηχανολογικού εξοπλισμού στο Aasta Hasteen

Παρατηρούμε πως η καλύτερη ταύτιση με τις προβλέψεις της λεπτομερούς προσομοίωσης της Statoil επιτυγχάνεται με το μοντέλο UMR_new και τον πρώτο χαρακτηρισμό. Ακολουθεί με μικρή διαφορά η SRK και η Peng Robinson με την ίδια μέθοδο χαρακτηρισμού. Συγκρίνοντας τις αποκλίσεις ανά είδος μηχανολογικού εξοπλισμού οι συμπιεστές εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις, ακολουθούμενοι από τις αντλίες ενώ τις μικρότερες αποκλίσεις εμφανίζονται στους εναλλάκτες θερμότητας. Οι αποκλίσεις εξηγούνται λόγω της απλοποίησης που πραγματοποιήσαμε στην προσομοίωση κάτι που εμφανίστηκε και στις αποκλίσεις των ρευμάτων εμπλουτισμού ελαφριού ρεύματος και του συμπυκνώματος που διέρχονται από αντλίες/συμπιεστές.

8.4.4 Πρόβλεψη προδιαγραφών μονάδας Aasta Hansteen

Εν συνεχεία θα παρουσιαστεί το διάγραμμα φάσεων με όλες τις καταστατικές εξισώσεις και χαρακτηρισμούς καθώς επίσης θα συγκεντρωθούν τα σημεία δρόσου υδρογονανθράκων (HC dew point) και σημείο δρόσου υδρατμών του μίγματος (Water Dew Point) που αποτελούν προδιαγραφές του ρεύματος και θα συγκριθούν με την Base case της Statoil.Ακολουθεί το διάγραμμα φάσεων για το ελαφρύ ρεύμα (Export Gas) με την χρήση του τρίτου χαρακτηρισμού. Πάνω στο διάγραμμα σημειώνονται ακόμα τα σημεία Cricondenbar με όλες τις μεθόδους:



Διάγραμμα 15 Διάγραμμα Φάσεων ελαφριού ρεύματος της διεργασίας του Aasta Hansteen

Παρατηρούμε πως οι καμπύλες με UMR_new και SRK προβλέπουν πολύ καλά το διάγραμμα φάσεων του ελαφριού ρεύματος. Αντίθετα η Peng Robinson υπερεκτιμά σε κάποια σημεία (όπως στο Cricondentherm). Σε ότι αφορά το Cricondenbar παρατηρούμε πως το UMR_new με τον τρίτο χαρακτηρισμό είναι πιο κοντά στο σημείο της προσομοίωσης της Statoil.

Οι διαφορές στα σημεία Cricondenbar (πίεση) και πιο συγκεκριμένα στην πίεση που προβλέπεται καταγράφονται επίσης και στον πιο κάτω πίνακα:

	Πίεση Cricondenbar (bar)	Απόλυτη Διαφορά
Statoil	113.4319	-
SRK1	110.6000	2.8319
SRK2	109.8000	3.6319
SRK3	112.4310	1.0008
PR1	105.7471	7.6847
PR2	109.2000	4.2319
PR3	112.5474	0.8845
UMR1	111.0000	2.4319
UMR2	111.6000	1.8319
UMR3	114.0341	0.6022

Πίνακας 99 Σύγκριση αποτελεσμάτων πίεσης CCDB για το ελαφρύ ρεύμα του Aasta Hansteen και σύγκριση με αυτά της προσομοίωσης της Statoil

Με την πιο πάνω σύγκριση παρατηρούμε πως καλύτερη πρόβλεψη της πίεσης CCDB που έχει και μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον για την βιομηχανία επιτυγχάνεται με το UMR_new και τον τρίτο χαρακτηρισμό που έγινε με βάση το μοριακό βάρος των ψευδοσυστατικών.

Τέλος η σύγκριση για το ελαφρύ ρεύμα της διεργασίας θα ολοκληρωθεί παρουσιάζοντας τις διαφορές στις προβλέψεις για το Hydrocarbon Dew Point καθώς και το Water Dew Point.

Αρχικά θα παρουσιαστούν οι προβλέψεις με βάση την SRK και τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού:

	Statoil (bar)	SRK1(bar)	Απόκλιση (bar)	SRK2(bar)	Απόκλιση (bar)	SRK3(bar)	Απόκλιση (bar)
Σημείο Δρόσου Υδρογονανθράκων (@ 0 oC)	103.5000	101.5302	1.9698	103.1287	0.3713	102.5285	0.9715
Σημείο δρόσου υδρατμών μίγματος (@ -18 oC)	69.0000	70.6000	1.6000	70.7000	1.7000	70.5000	1.5000

Πίνακας 100 Σύγκριση προδιαγραφών σημείο δρόσου υδρογονανθράκων και σημείο δρόσου υδρατμών ελαφριού μίγματος Aasta Hansteen (SRK με όλες τις μεθόδους χαρακτηρισμού)

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα ίδια αποτελέσματα με την χρήση της PR:

	Statoil (bar)	PR1(bar)	Απόκλιση (bar)	PR 2(bar)	Απόκλιση (bar)	PR 3(bar)	Απόκλιση (bar)
Σημείο Δρόσου Υδρογονανθράκων (@ 0 oC)	103.5000	100.3202	3.1798	100.2178	3.2822	102.1980	1.3020
Σημείο δρόσου υδρατμών μίγματος (@ -18 oC)	69.0000	72.2000	3.2000	72.1800	3.1800	72.1000	3.1000

Πίνακας 101 Σύγκριση προδιαγραφών σημείο δρόσου υδρογονανθράκων και σημείο δρόσου υδρατμών ελαφριού μίγματος Aasta Hansteen (PR με όλες τις μεθόδους χαρακτηρισμού)

Τέλος οι ίδιες προδιαγραφές θα παρουσιαστούν και με UMR_new και την χρήση των 3 χαρακτηρισμών:

	Statoil (bar)	UMR1(bar)	Απόκλιση (bar)	UMR2(bar)	Απόκλιση (bar)	UMR3(bar)	Απόκλιση (bar)
Σημείο Δρόσου Υδρογονανθράκων (@ 0 oC)	103.5000	102.5793	0.9207	102.0185	1.4815	102.5357	0.9643
Σημείο δρόσου υδρατμών μίγματος (@ -18 oC)	69.0000	72.5807	3.5807	72.5818	3.5818	72.6191	3.6191

Πίνακας 102 Σύγκριση προδιαγραφών σημείο δρόσου υδρογονανθράκων και σημείο δρόσου υδρατμών ελαφριού μίγματος Aasta Hansteen (UMR_new με όλες τις μεθόδους χαρακτηρισμού)

Συγκρίνοντας τα πιο πάνω αποτελέσματα παρατηρούμε πως το UMR_new με τον πρώτο χαρακτηρισμό δίνει πολύ καλά αποτελέσματα για το Hydrocarbon Dew point με πολύ μικρή απόκλιση σε σχέση με τα αποτελέσματα της Statoil (και αυτά της SRK με τον δεύτερο χαρακτηρισμό) ενώ για το Water Dew Point η SRK με την χρήση του χαρακτηρισμού με το μοριακό βάρος δίνει τα πιο κοντινά αποτελέσματα με αυτά των προσομοιώσεων της Statoil.

8.4.5 Επίδραση της μεθόδου χαρακτηρισμού στα αποτελέσματα της προσομοίωσης

Για να εκτιμηθεί με πιο βάσιμο τρόπο η επίδραση του χαρακτηρισμού στην πρόβλεψη των συστάσεων στα 3 βασικά ρεύματα της διεργασίας υπολογίζουμε κάποιους λόγους σε κάθε ρεύμα. Στο ελαφρύ ρεύμα (Export Gas) αρκεί να υπολογίσουμε την προβλεπόμενη σύσταση των ελαφρύτερων συστατικών (έως 5 άτομα άνθρακα) προς τα βαρύτερα συστατικά. Αυτό το πράττουμε στην προσομοίωση που χρησιμοποιούμε ως βάση (αυτή της Statoil) και το συγκρίνουμε με τις προσομοιώσεις μας με SRK, Peng Robinson και με UMR_new.

Για το συμπύκνωμα (Condensate) ο λόγος που θα υπολογίσουμε θα είναι τα βαρύτερα συστατικά (από 5 άτομα άνθρακα και πάνω) προς τα ελαφρύτερα σε όλες τις προσομοιώσεις.

Ακολουθεί ο πίνακας με τα αποτελέσματα για το ρεύμα Export Gas:

Ελαφρύ Ρεύμα (Export Gas)	C1-5/C6+	% Απόκλιση
STATOIL	570	-
SRK1	468	17.88
SRK2	474	20.44
SRK3	561	1.87
PR1	443	22.54
PR2	449	27.14
PR3	523	10.33
UMR1	469	19.19
UMR2	468	21.71
UMR3	551	4.03

Πίνακας 103 Σύγκριση μεθόδων χαρακτηρισμού και μοντέλων στο ρεύμα Export Gas του Aasta Hansteen

Παρατηρούμε πως ο τρίτος χαρακτηρισμός που βασίζεται στο μοριακό βάρος δίνει και με τα τρία μοντέλα τα καλύτερα αποτελέσματα. Σε ότι αφορά τα μοντέλα βλέπουμε πως η SRK και το UMR_new δίνουν κοντινά αποτελέσματα με την SRK να υπερέχει λίγο.

Στην συνέχεια ακολουθεί τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το ρεύμα του συμπυκνώματος (Condensate). Οι λόγοι που υπολογίζονται τώρα είναι το άθροισμα των συστάσεων των βαρύτερων συστατικών (C6+) προς το άθροισμα της σύστασης των ελαφρύτερων συστατικών (C1-5).

Ακολουθεί ο πίνακας των αποτελεσμάτων:

Συμπύκνωμα (Condensate)	C6+/C1-5	% Απόκλιση
STATOIL	21.57	-
SRK1	22.16	-2.75
SRK2	21.56	0.04
SRK3	21.40	0.75
PR1	22.91	-6.27
PR2	22.10	-2.31
PR3	22.01	-1.99
UMR1	20.63	4.24
UMR2	20.60	4.66
UMR3	21.13	2.14

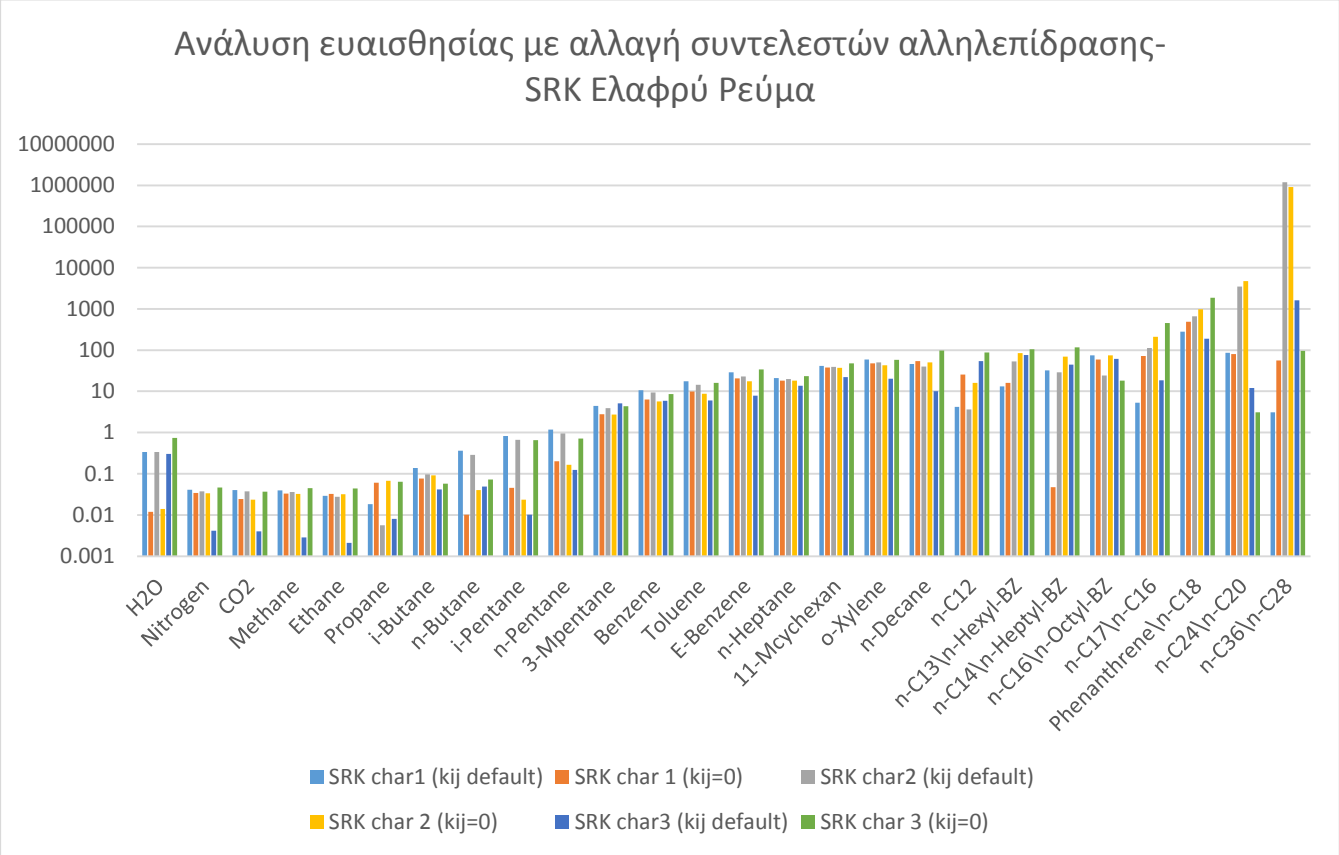
Πίνακας 104 Σύγκριση μεθόδων χαρακτηρισμού και μοντέλων στο συμπύκνωμα του Aasta Hansteen

Στην περίπτωση του συμπυκνώματος παρατηρούμε γενικότερα μια πολύ καλύτερη προσέγγιση σε σχέση με τα ελαφρύτερα ρεύματα σε ότι αφορά την πρόβλεψη της φύσης του ρεύματος. Την καλύτερη προσέγγιση έχει το μοντέλο SRK με την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού ενώ εξίσου καλά αποτελέσματα δίνουν και οι Peng Robinson και το UMR_new με την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού.

8.4.6 Ανάλυση ευαισθησίας με μηδενισμό των συντελεστών αλληλεπίδρασης kij για την μονάδα Aasta Hansteen

Στο μέρος αυτό θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας που έγινε με μηδενισμό των συντελεστών αλληλεπίδρασης.
Οι αναλυτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων θα παρατεθούν σε υπόμνημα ενώ για μία πιο γρήγορη σύγκριση θα παρουσιαστούν τώρα τα ραβδοδιαγράμματα σφάλματος. Θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για τα βασικά ρεύματα (ελαφρύ ρεύμα εξόδου, συμπύκνωμα) καθώς και για τα ρεύματα εμπλουτισμού.

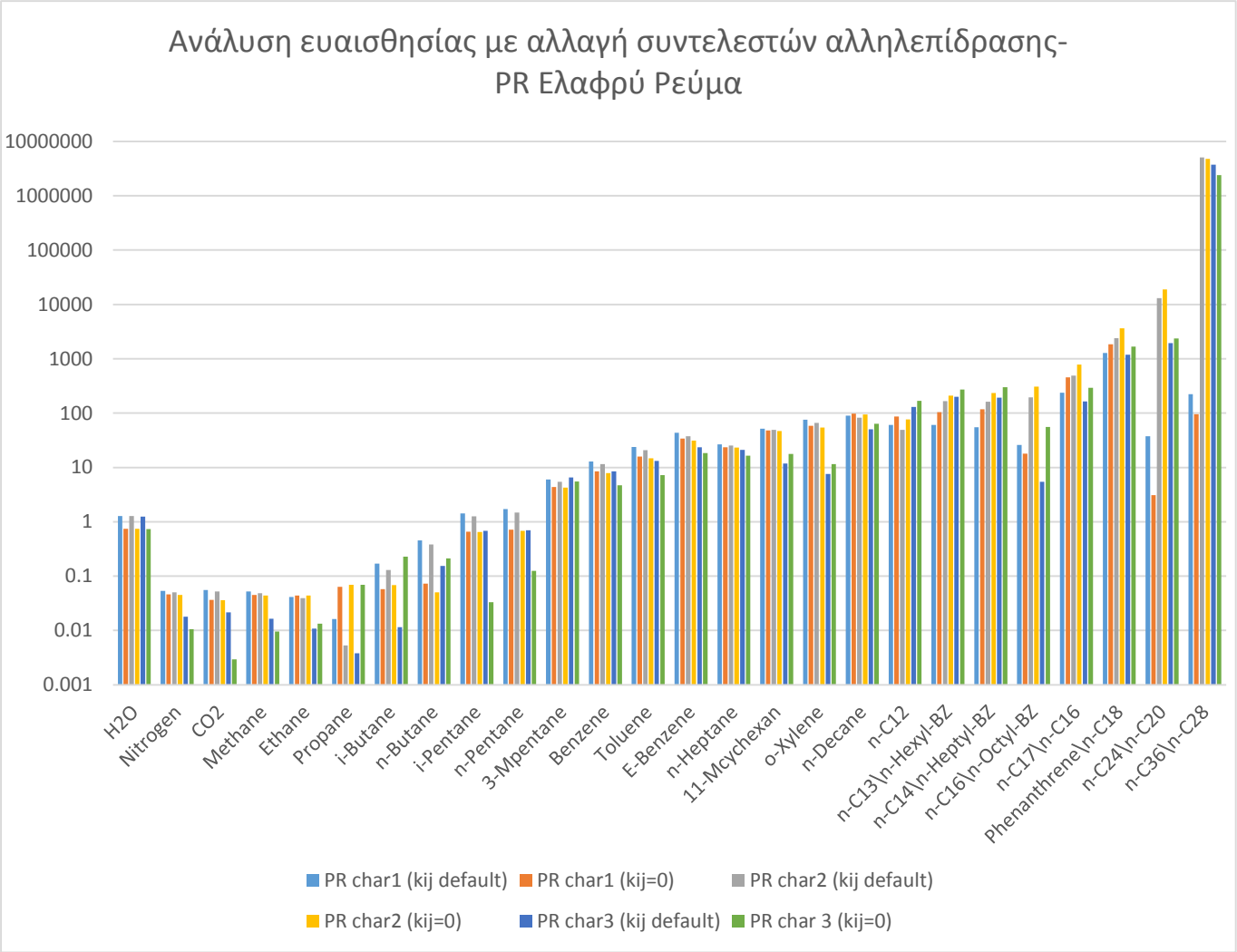
Αρχικά θα παρουσιαστεί το ραβδοδιάγραμμα σφάλματος (σε λογαριθμική κλίμακα) για το ελαφρύ ρεύμα (Export Gas) με σύγκριση των αποκλίσεων πρίν και μετά την αλλαγή των k_{ij} με την καταστατική εξίσωση SRK.



Διάγραμμα 16 Σύγκριση αποκλίσεων με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης για το ελαφρύ ρεύμα του Aasta Hansteen (SRK και όλοι οι χαρακτηρισμοί)

Βλέποντας το πιο πάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι σε αυτό με την SRK το νερό παρουσιάζει διαφοροποίηση μεγάλη σχετικά με την απόκλιση από την προσομοίωση της Statoil αλλάζοντας τους συντελεστές αλληλεπίδρασης .Γενικότερα υπάρχει μία τάση ελάττωσης του σφάλματος κυρίως στα συστατικά μέχρι το κανονικό δεκάνιο με τον μηδενισμό των k_{ij}. Αυτό δικαιολογείται λόγω του γεγονότος ότι στην προσομοίωση της Statoil που μελετήσαμε είχε προεπιλεγεί να μην γίνεται εκτίμηση των συντελεστών αλληλεπίδρασης όταν αυτοί δεν υπάρχουν ήδη στην βιβλιοθήκη του. Στα βαρύτερα συστατικά η διαφοροποίηση είναι σχετικά μικρή. Γενικώς λόγω της μικρής συγκέντρωσης των μη υδρογονανθράκων η χρήση kij ίσως δεν είναι απαραίτητη.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί το αντίστοιχο διάγραμμα με Peng Robinson.



Διάγραμμα 17 Σύγκριση αποκλίσεων με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης για το ελαφρύ ρεύμα του Aasta Hansteen (PR και όλοι οι χαρακτηρισμοί)

Σε ότι αφορά το διάγραμμα σφαλμάτων της Peng Robinson παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά σε σχέση με τα αποτελέσματα της μελέτης ευαισθησίας που έγιναν με την SRK.

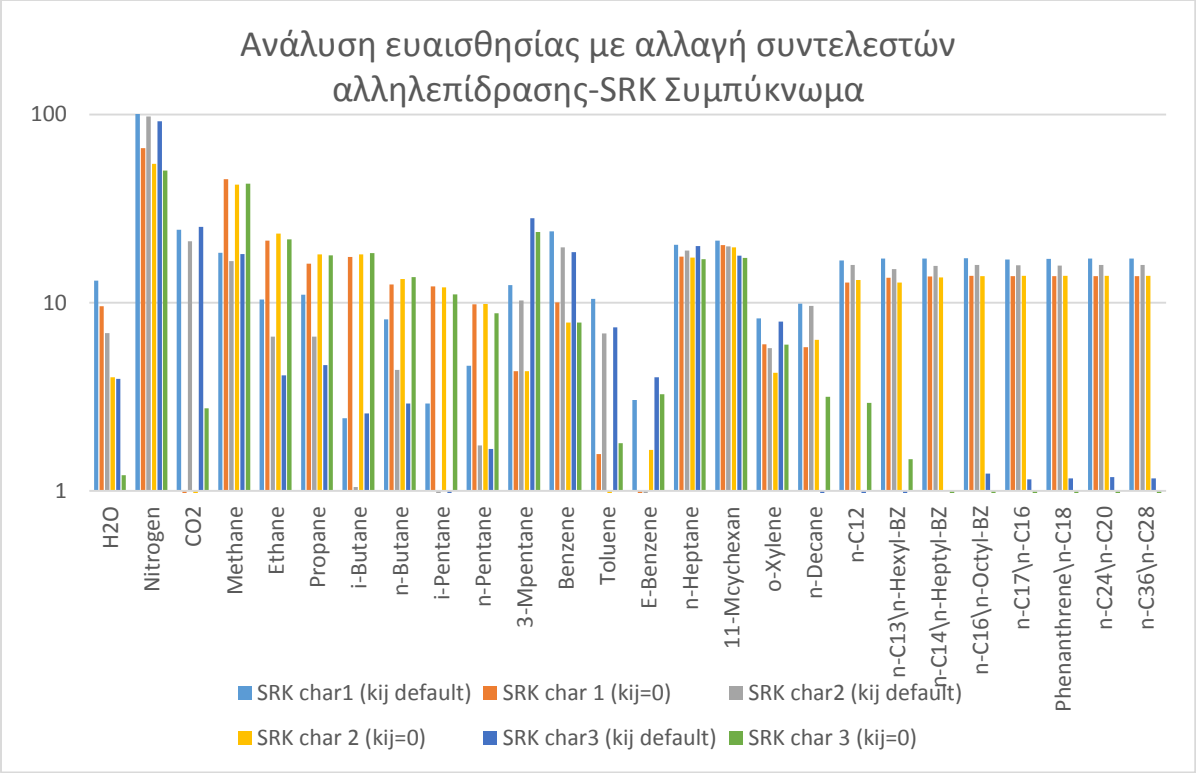
Για να διαπιστωθεί η επίδραση των kij στην πρόβλεψη της φύσης του μίγματος, παρουσιάζονται εκ νέου πίνακες C1-5/C6+ με όλους τους χαρακτηρισμούς και μοντέλα με και χωρίς kij.

Ελαφρύ ρεύμα (Export Gas)	C1-5/C6+	% Απόκλιση
STATOIL	570.00	-
SRK1	468.00	17.89
SRK1 kij0	485.87	14.76
SRK2	474.00	16.84
SRK2 kij0	487.54	14.47
SRK3	561.00	1.58
SRK3 kij0	577.03	-1.23
PR1	443.00	22.28
PR1 kij0	461.20	19.09
PR2	449.00	21.23
PR2 kij0	462.72	18.82
PR3	523.00	8.25
PR3 kij0	546.35	4.15

Πίνακας 105 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων Aasta Hansteen για το ελαφρύ ρεύμα με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης

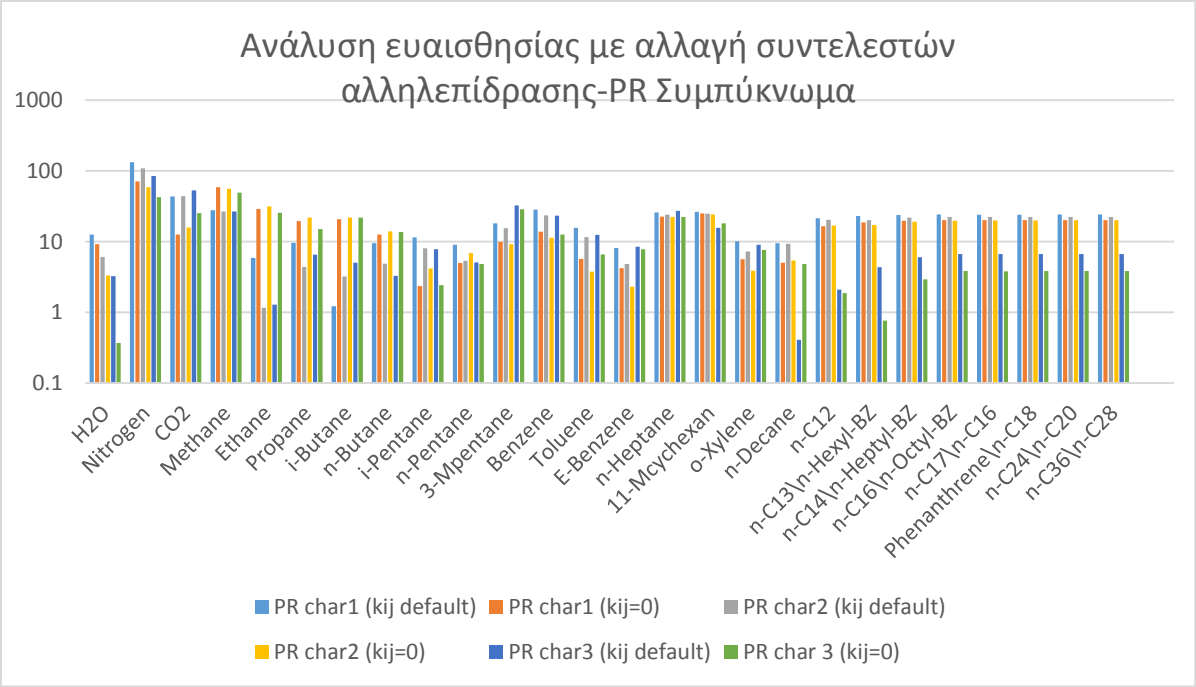
Παρατηρούμε γενικά μια καλύτερη προσέγγιση και περιγραφή του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) με μηδενικούς συντελεστές αλληλεπίδρασης καθώς τα σφάλματα είναι μικρότερα στην δεύτερη περίπτωση. Αυτό ήταν κάτι το αναμενόμενο καθώς η προσομοίωση της Statoil είχε πραγματοποιηθεί στο HYSYS με διαφορετικούς συντελεστές αλληλεπίδρασης. Επίσης λόγω των μικρών συγκεντρώσεων μη υδρογονανθράκων τα αποτελέσματα είναι καλύτερα χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αντίστοιχα διαγράμματα του συμπυκνώματος με SRK και Peng Robinson.



Διάγραμμα 18 Σύγκριση αποκλίσεων με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης για το συμπύκνωμα του Aasta Hansteen (SRK και όλοι οι χαρακτηρισμοί)

Ακολουθεί το ίδιο διάγραμμα για την Peng Robinson:



Διάγραμμα 19 Σύγκριση αποκλίσεων με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης για το συμπύκνωμα του Aasta Hansteen (PR και όλοι οι χαρακτηρισμοί)

Στην περίπτωση του συμπυκνώματος παρατηρούμε μεγάλες διαφορές στην απόκλιση της πρόβλεψης σύστασης του νερού και του αζώτου από την προσομοίωση της Statoil που προκαλούνται όταν οι συντελεστές αλληλεπίδρασης εκτιμώνται από το Hysys (default επιλογή). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και με την SRK αλλά και με την Peng Robinson. Στα υπόλοιπα συστατικά η πρόβλεψη είναι παρεμφερής με ελαφρώς μικρότερες αποκλίσεις όταν χρησιμοποιούνται μηδενικά k_{ij} σε σχέση με αυτά που εκτιμά το Hysys.

Για να διαπιστωθεί η επίδραση των kij στην πρόβλεψη της φύσης του μίγματος, παρουσιάζονται εκ νέου πίνακες C6+/C1-5 με όλους τους χαρακτηρισμούς και μοντέλα με και χωρίς kij.

Συμπύκνωμα (Condensate)	C6+/C1-5	% Απόκλιση
STATOIL	21.57	-
SRK1	22.16	-2.74
SRK1 kij0	18.42	14.59
SRK2	21.56	0.05
SRK2 kij0	18.45	14.46
SRK3	21.40	0.79
SRK3 kij0	18.58	13.86
PR1	22.91	-6.21
PR1 kij0	18.88	12.46
PR2	22.10	-2.46
PR2 kij0	18.69	13.37
PR3	22.01	-2.04
PR3 kij0	19.09	11.48

Πίνακας 106 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων Aasta Hansteen για το συμπύκνωμα με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης

Παρατηρούμε πως οι αποκλίσεις από την προσομοίωση της Statoil αυξάνονται με την αλλαγή των συντελεστών αλληλεπίδρασης. Αυτό μπορούμε να το εξηγήσουμε με την μεγάλη διαφοροποίηση των αποκλίσεων στην πρόβλεψη της συγκέντρωσης του μεθανίου όπως φαίνεται και από τα πιο πάνω ραβδοδιαγράμματα (με SRK καθώς και με Peng Robinson).

Στην συνέχεια θα παρουσιασθούν πίνακες που θα δείχνουν την σύγκριση των αποτελεσμάτων με συντελεστές αλληλεπίδρασης καθώς και με μηδενικούς συντελεστές αλληλεπίδρασης για τα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος καθώς και του συμπυκνώματος. Οι αναλυτικοί πίνακες θα παρουσιασθούν σε παράρτημα ενώ εδώ θα δείξουμε την διαφορά των σταθμικών μέσων απόκλισης για τα ρεύματα εμπλουτισμού με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης.

Αρχικά θα παρουσιασθούν οι διαφορές που καταγράφηκαν στα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος:

Σταθμικός μέσος των σφαλμάτων	Ρεύμα 17	Ρεύμα 23	Ρεύμα 49	Μέσος Όρος
SRK1	1.05	7.96	265.92	91.65
SRK1 kij0	1.10	14.60	132.29	49.33
SRK2	0.84	8.25	59907.89	19972.32
SRK2 kij0	1.02	15.89	6399.84	2138.92
SRK3	0.77	9.63	8.50	6.30
SRK3 kij0	1.13	16.81	6237.92	2085.28
PR1	1.43	13.93	430.38	148.58
PR1 kij0	1.75	22.18	193.02	72.32
PR2	1.28	14.73	12.00	9.34
PR2 kij0	1.68	23.47	5.92	10.36
PR3	1.28	15.64	8.76	8.56
PR3 kij0	1.54	22.85	5.51	9.97

Πίνακας 107 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων Aasta Hansteen για το ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης

Αν δούμε τα ρεύματα 17 και 23 που γενικώς έχουν πιο μικρές αποκλίσεις παρατηρούμε ότι ο μηδενισμός των συντελεστών αλληλεπίδρασης προκαλεί μια μικρή αύξηση των σφαλμάτων. Αντίθετα στο ρεύμα 49 τα πράγματα είναι διαφορετικά καθώς στις περισσότερες των περιπτώσεων ο μηδενισμός των συντελεστών έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των σφαλμάτων. Όλα αυτά φυσικά είναι συνάρτηση της σύστασης του κάθε ρεύματος και έτσι δεν είναι πάντα καλύτερη η μία από τις δύο εκδοχές.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα ρεύματα εμπλουτισμού του συμπυκνώματος:

Σταθμικός μέσος των σφαλμάτων	Ρεύμα 48	Ρεύμα 41	Ρεύμα 35	Μέσος Όρος
SRK1	2.4535	15.4080	23.4838	13.7818
SRK1 kij0	2.4535	15.4092	21.5445	13.1357
SRK2	2.4535	15.4080	23.8502	13.9039
SRK2 kij0	2.4644	15.4092	21.7324	13.2020
SRK3	0.5257	15.3240	15.0309	10.2936
SRK3 kij0	0.2762	15.4092	11.9086	9.1980
PR1	2.4536	15.4073	17.0768	11.6459
PR1 kij0	2.4644	15.4092	15.5291	11.1342
PR2	2.4536	15.3643	17.0868	11.6349
PR2 kij0	2.4644	15.3653	15.3365	11.0554
PR3	2.4536	15.3074	10.2680	9.3430
PR3 kij0	2.4644	15.3386	8.5648	8.7893

Πίνακας 108 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων Aasta Hansteen για το ρεύματα εμπλουτισμού του συμπυκνώματος με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης

9 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν δύο προσομοιώσεις διεργασιών επεξεργασίας φυσικού αερίου. Οι συγκρίσεις που έγιναν ήταν στην βάση 3 πραγμάτων: των γραμμομοριακών ροών, των συγκεντρώσεων των συστατικών καθώς και των ενεργειακών απαιτήσεων.

Αρχικά μελετήθηκε η διεργασία που λαμβάνει χώρα στη μονάδα επεξεργασίας φυσικού αερίου Kristin. Δημιουργήθηκαν προσομοιώσεις που βασίστηκαν σε αυτήν που μας δόθηκε από την Statoil στο λογισμικό PRO/II. Οι προσομοιώσεις αυτές που δημιουργήσαμε είχαν καλή αναπαραγωγή της αντίστοιχης της Statoil.

Κάποια βασικά σημεία που αξίζει να σημειώσουμε είναι τα ακόλουθα:

- Η πρόβλεψη του CCDB pressure είχε μεγαλύτερη επιτυχία σε σχέση με όλες τις προσομοιώσεις με αυτή που έγινε με την χρήση του UMR_new και τον τρίτο χαρακτηρισμό βαριού κλάσματος.
- Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις εμφανίστηκαν γενικώς στα βαρύτερα συστατικά κάτι που ήταν αναμενόμενο καθώς η απόκλιση από το σημείο βρασμού/μοριακό βάρος του real component σε σχέση με τα βαριά ψευδοσυστατικά είναι η μεγαλύτερη σε σχέση με τα ελαφρύτερα.
- Η επίδραση των k_{ij} έχει να κάνει κυρίως με τα βαριά μόρια καθώς και με τις πολικές ενώσεις (πχ νερό). Αυτά άλλωστε εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αλλαγές με τον μηδενισμό των παραμέτρων.
- Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις ενεργειακών απαιτήσεων εμφανίζονται σε αντλίες και συμπιεστές ενώ οι εναλλάκτες θερμότητας προβλέπονται καλύτερα.

Στην συνέχεια μελετήθηκε η μονάδα επεξεργασίας φυσικού αερίου του Aasta Hansteen. Χρησιμοποιήθηκε η προσομοίωση της Statoil, η οποία απλοποιήθηκε. Έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων της απλοποιημένης εκδοχής με την αρχική ώστε να επιβεβαιωθεί η ορθότητα της απλοποίησης. Στην συνέχεια το βαρύ κλάσμα του ρεύματος τροφοδοσίας χαρακτηρίστηκε με βάση το κανονικό σημείο βρασμού και έτσι αντιστοιχήθηκαν τα ψευδοσυστατικά με πραγματικά συστατικά με παραπλήσιες ιδιότητες.

Σαν κατάληξη της όλης αυτής προσπάθειας λάβαμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τα οποία τα συγκρίναμε με την προσομοίωση της Statoil. Παρατηρήσαμε πως γενικώς τα μοντέλα δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα. Στην βασική και κρίσιμη προδιαγραφή του Export Gas, την πίεση του Cricondenbar διαπιστώσαμε πως πιο κοντά στα αποτελέσματα της Statoil ήταν το μοντέλο UMR_new με την χρήση του δεύτερου χαρακτηρισμού.

Ακόμα στις προδιαγραφές HC dew point καθώς και Water Dew point οι καλύτερες προβλέψεις επιτυγχάνονται με την SRK και τον δεύτερο χαρακτηρισμό.

Η ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήσαμε (με την αλλαγή των kij) επηρέασε αρκετά τα σφάλματα σε ότι αφορά το άζωτο και το νερό ενώ γενικώς η επίδραση ήταν μεγαλύτερη στο ρεύμα Export Gas σε σχέση με το ρεύμα του Condensate.

Σαν μελλοντικές προτάσεις θα ήθελα να τονίσω πως λόγω της πολύ καλής πρόβλεψης του UMR_new στις προδιαγραφές του φυσικού αερίου το μοντέλο αξίζει να δοκιμαστεί και σε νέες προσομοιώσεις για να διαπιστωθεί εκ νέου η ακρίβειά του. Ακόμα μια μεγάλη πρόκληση για μελλοντικές εργασίες είναι η βελτίωση της ταχύτητας της εφαρμογής Cape Open ώστε η σύγκλιση να επιτυγχάνεται σε μικρότερο χρονικό διάστημα

10 Βιβλιογραφία

Aspen Technology: *Aspen Physical Property System,Physical Property Methods*

Aspen Hysys *Unit Operations Guide.* Aspen Technology.

E. Retzekas, E. V. (2002). Prediction of physical properties of hydrocarbons,petroleum and coal liquid fractions. *Ind. Eng. Chem. Res.41*, 1695–1702.

Gray R.D., H. J. (1989). Characterization and property prediction for heavy petroleum and synthetic liquids. *Fluid Phase Equilibria*, 355-376.

Invensys Systems (2007) *PRO/II Academic Manual.*

Louli, V. P. (2012). Measurement and prediction of dew point curves of natural gas mixtures. *Fluid Phase Equilibria*, 1-9.

Partho, R., & Ruhul , A. (2011). Aspen-HYSYS Simulation of Natural Gas Processing Plant. *Journal of Chemical Engineering, JEB*, 1-4.

Peng, D., & Robinson, D. (1976). A New Two-Constant Equation of State . *Ind.Eng.Chem.Fundam.15*, 59-64.

Redlich, O., & Kwong, J. (1949). On the Thermodynamics of Solutions: V. An Equation of State: Fugacities of Gaseous Solutions. *Chem.Rev.44*, 233-244.

Sadus, R. (1994). Calculating Critical Transitions of Fluid Mixtures: Theory vs Experiment. *AlChe J.40*, 1376-1403.

Saeid Mokhatab, W. A. (2006). *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing.* Elsevier's Science & Technology.

Soave, G. (1972). Equilibrium Constants from a modified Redlich-Kwong Equation of State. *Chem. Eng. Sci. 27*, 1197-1203.

Vasiliki Louli, C. B. (2007). Application of the UMR-PRU model to multicomponent systems: Prediction of the phase behavior of synthetic natural gas and oil systems. *Fluid Phase Equilibria*, 1-8.

Voutsas, E. L. (2006). Thermodynamic property calculations with the Universal Mixing Rule for EoS/GE models: Results with the Peng-Robinson EoS and a UNIFAC model. *Fluid Phase Equilibria 241*, 216-228.

Τασιός, Δ. (2001). *Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική Χημικής Μηχανικής.* Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων βάσης παρήχθησαν από την εταιρεία Statoil

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 Τυπική Σύσταση Φυσικού Αερίου 11
Πίνακας 2 Ιδιότητες Φυσικού Αερίου (Typical Properties) 13
Πίνακας 3 Συστατικά ρεύματος τροφοδοσίας Kristin 30
Πίνακας 4 Λίστα εισαγωγής συστατικών στο HYSYS 30
Πίνακας 5 Ιδιότητες Ψευδοσυστατικών προσομοίωσης Kristin 31
Πίνακας 6 Μονάδες διεργασιών στο διάγραμμα ροής του Kristin 33
Πίνακας 7 Μαζικές και ενεργειακές ροές στο διάγραμμα ροής του Kristin 33
Πίνακας 8 Σύσταση ρεύματος τροφοδοσίας Kristin 36
Πίνακας 9 Σύγκριση ροών μάζας βασικών ρευμάτων της διεργασίας του Kristin (ψευδοσυστατικά) 36
Πίνακας 10 Σύγκριση ροών μάζας ρευμάτων εμπλουτισμού συμπυκνώματος της διεργασίας του Kristin (ψευδοσυστατικά) 37
Πίνακας 11 Σύγκριση ροών μάζας ρευμάτων εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) της διεργασίας του Kristin (ψευδοσυστατικά) 37
Πίνακας 12 Σύγκριση ρεύματος υγραερίων της μονάδας Kristin (ψευδοσυστατικά) 38
Πίνακας 13 Σύγκριση ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin (ψευδοσυστατικά) 39
Πίνακας 14 Σύγκριση του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin (ψευδοσυστατικά) 39
Πίνακας 15 Αποτελέσματα προδιαγραφής Cricondenbar για την μονάδα Kristin (ψευδοσυστατικά) 40
Πίνακας 16 Αποτελέσματα πρώτου χαρακτηρισμού (με βάση το κανονικό σημείο βρασμού) .. 42
Πίνακας 17 Αποτελέσματα δεύτερου χαρακτηρισμού (με βάση την αντιστοίχιση κανονικών αλκανίων σε ψευδοσυστατικά) 42
Πίνακας 18 Αποτελέσματα τρίτου χαρακτηρισμού (με βάση το μοριακό βάρος των συστατικών) 43
Πίνακας 19 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με SRK και την πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού 48
Πίνακας 20 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με SRK και την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού 48
Πίνακας 21 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με SRK και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού 48
Πίνακας 22 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με PR και την πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού 49
Πίνακας 23 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με PR και την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού 49
Πίνακας 24 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με PR και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού 49
Πίνακας 25 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με UMR_new και την πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού 50
Πίνακας 26 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με UMR_new και την δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού 50
Πίνακας 27 Αποτελέσματα και σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας Kristin με UMR_new και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού 50

Πίνακας 28 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ρεύματος υγραερίων της μονάδας Kristin με χρήση SRK και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού 52
Πίνακας 29 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ρεύματος υγραερίων της μονάδας Kristin με χρήση PR και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού 53
Πίνακας 30 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ρεύματος υγραερίων της μονάδας Kristin με χρήση UMR_new και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού 54
Πίνακας 31 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) της μονάδας Kristin με χρήση SRK και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού 55
Πίνακας 32Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) της μονάδας Kristin με χρήση PR και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού 55
Πίνακας 33 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του ελαφριού ρεύματος (Export Gas) της μονάδας Kristin με χρήση UMR_new και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού 56
Πίνακας 34 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με χρήση SRK και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού 57
Πίνακας 35 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με χρήση PR και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού 58
Πίνακας 36 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με χρήση UMR_new και των 3 μεθόδων χαρακτηρισμού 58
Πίνακας 37 Αποκλίσεις ρεύματος 40 εμπλουτισμού συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 59
Πίνακας 38 Αποκλίσεις ρεύματος 10 εμπλουτισμού συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 60
Πίνακας 39 Αποκλίσεις ρεύματος 45 εμπλουτισμού συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 60
Πίνακας 40 Αποκλίσεις ρεύματος 44 εμπλουτισμού συμπυκνώματος με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 61
Πίνακας 41 Σταθμικός μέσος αποκλίσεων για τα ρεύματα εμπλουτισμού συμπυκνώματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 62
Πίνακας 42 Αποκλίσεις ρεύματος 3 εμπλουτισμού ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 63
Πίνακας 43 Αποκλίσεις ρεύματος 19 εμπλουτισμού ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 63
Πίνακας 44 Αποκλίσεις ρεύματος 24 εμπλουτισμού ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 64
Πίνακας 45 Σταθμικός μέσος αποκλίσεων για τα ρεύματα εμπλουτισμού ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 64
Πίνακας 46 Μέση απόκλιση πρόβλεψης ενεργειακών απαιτήσεων ανά είδος μηχανολογικού εξοπλισμού για την μονάδα Kristin 65
Πίνακας 47 Σύγκριση αποτελεσμάτων πίεση CCDB με την πειραματική τιμή για την μονάδα Kristin 66
Πίνακας 48 Αποτέλεσμα σύγκρισης χαρακτηρισμών και μοντέλων για το ρεύμα υγραερίων της μονάδας Kristin 68
Πίνακας 49 Αποτέλεσμα σύγκρισης χαρακτηρισμών και μοντέλων για το ελαφρύ ρεύμα της μονάδας Kristin 69

Πίνακας 50 Αποτέλεσμα σύγκρισης χαρακτηρισμών και μοντέλων για το ρεύμα συμπυκνώματος της μονάδας Kristin 69
Πίνακας 51 Αποτελέσματα σύγκρισης πρόβλεψης φύσης του ρεύματος υγραερίων της μονάδας Kristin (με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης)..... 71
Πίνακας 52 Αποτελέσματα σύγκρισης πρόβλεψης φύσης του ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin (με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης)..... 73
Πίνακας 53 Αποτελέσματα σύγκρισης πρόβλεψης φύσης του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin (με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης)..... 75
Πίνακας 54 Σύγκριση σταθμικών σφαλμάτων για τα ρεύματα εμπλουτισμού του συμπυκνώματος της μονάδας Kristin (με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης)..... 76
Πίνακας 55 Σύγκριση σταθμικών σφαλμάτων για τα ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin (με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης)..... 76
Πίνακας 56 Προδιαγραφές Ελαφριού Ρεύματος της Διεργασίας του Aasta Hansteen..... 78
Πίνακας 57 Προδιαγραφές Συμπυκνώματος της διεργασίας (Condensate) 78
Πίνακας 58 Συνθήκες παραγωγής ανά διάστημα εκμετάλλευσης στην μονάδα του Aasta Hansteen 79
Πίνακας 59 Συστατικά μείγματος τροφοδοσίας μονάδας Aasta Hansteen..... 84
Πίνακας 60 Ιδιότητες ψευδοσυστατικών μονάδας Aasta Hansteen 84
Πίνακας 61 Μαζικές και ενεργειακές ροές της μονάδας του Aasta Hansteen..... 87
Πίνακας 62 Μονάδες διεργασιών στο διάγραμμα ροής του Aasta Hansteen 87
Πίνακας 63 Σύγκριση μαζικών ροών βασικών ρευμάτων της μονάδας του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)..... 90
Πίνακας 64 Σύγκριση μαζικών ροών ρευμάτων εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος της μονάδας του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά) 90
Πίνακας 65 Σύγκριση μαζικών ροών ρευμάτων εμπλουτισμού του συμπυκνώματος της μονάδας του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά) 90
Πίνακας 66 Σύγκριση αποτελεσμάτων σύστασης συμπυκνώματος της μονάδας Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)..... 91
Πίνακας 67 Σύγκριση αποτελεσμάτων σύστασης ελαφριού ρεύματος της μονάδας Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά) 92
Πίνακας 68 Σύγκριση προδιαγραφών ελαφριού ρεύματος Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά) 93
Πίνακας 69 Υπολογισμός κανονικού σημείου βρασμού των ψευδοσυστατικών μεσα από την σχέση του Retzekas et al. για την μονάδα του Aasta Hansteen (E. Retzekas, 2002)..... 94
Πίνακας 70 Αποτελέσματα πρώτου χαρακτηρισμού του μίγματος τροφοδοσίας του Aasta Hansteen (βασίζεται στο σημείο βρασμού)..... 95
Πίνακας 71 Αποτελέσματα δεύτερου χαρακτηρισμού του μίγματος τροφοδοσίας του Aasta Hansteen (βασίζεται στο σημείο βρασμού που προβλέπεται από την σχέση των Retzekas μέχρι το LuvaC12 ενώ μετά από τα σημεία βρασμού της Statoil) 96
Πίνακας 72 Αποτελέσματα τρίτου χαρακτηρισμού του μίγματος τροφοδοσίας του Aasta Hansteen (βασίζεται στο μοριακό βάρος) 96
Πίνακας 73 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (SRK με πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού) 101
Πίνακας 74 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (SRK με δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού) 101

Πίνακας 75 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (SRK με τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού)..... 101
Πίνακας 76 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (PR με πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού) 102
Πίνακας 77 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (PR με δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού) 102
Πίνακας 78 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (PR με τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού)..... 102
Πίνακας 79 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (UMR_new με πρώτη μέθοδο χαρακτηρισμού)..... 102
Πίνακας 80 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (UMR_new με δεύτερη μέθοδο χαρακτηρισμού)..... 103
Πίνακας 81 Αποτελέσματα σύγκρισης μαζικών ροών βασικών ρευμάτων Aasta Hansteen (UMR_new με τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού)..... 103
Πίνακας 82 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων ελαφριού ρεύματος του Aasta Hansteen (SRK και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού) 106
Πίνακας 83 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων ελαφριού ρεύματος του Aasta Hansteen (PR και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού) 107
Πίνακας 84 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων ελαφριού ρεύματος του Aasta Hansteen (UMR_new και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού) 108
Πίνακας 85 Σύγκριση σταθμικού μέσου αποκλίσεων από την προσομοίωση της Statoil για το Aasta Hansteen (ελαφρύ ρεύμα-Export Gas) 108
Πίνακας 86 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων συμπυκνώματος του Aasta Hansteen (SRK και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού) 109
Πίνακας 87 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων συμπυκνώματος του Aasta Hansteen (PR και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού) 110
Πίνακας 88 Αποτελέσματα σύγκρισης συστάσεων συμπυκνώματος του Aasta Hansteen (UMR_new και όλες οι μέθοδοι χαρακτηρισμού) 111
Πίνακας 89 Σύγκριση σταθμικού μέσου αποκλίσεων από την προσομοίωση της Statoil για το Aasta Hansteen (Ρεύμα συμπυκνώματος-Condensate) 112
Πίνακας 90 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 17 (εμπλουτισμού Export Gas του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 113
Πίνακας 91 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 23 (εμπλουτισμού Export Gas του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 114
Πίνακας 92 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 49 (εμπλουτισμού Export Gas του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 115
Πίνακας 93 Σταθμικοί μέσοι αποκλίσεων στις συστάσεις ρευμάτων εμπλουτισμού Export Gas του Aasta Hansteen (με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς) 116
Πίνακας 94 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 49 (εμπλουτισμού Condensate του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 117
Πίνακας 95 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 41 (εμπλουτισμού Condensate του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 118
Πίνακας 96 Αποκλίσεις συστάσεων ρεύματος 35 (εμπλουτισμού Condensate του Aasta Hansteen) με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς 119

Πίνακας 97 Σταθμικοί μέσοι αποκλίσεων στις συστάσεις ρευμάτων εμπλουτισμού Condensate του Aasta Hansteen (με όλα τα μοντέλα και χαρακτηρισμούς) 119
Πίνακας 98 Μέση απόκλιση πρόβλεψης ενεργειακών απαιτήσεων ανά είδος μηχανολογικού εξοπλισμού στο Aasta Hasteen 120
Πίνακας 99 Σύγκριση αποτελεσμάτων πίεσης CCDB για το ελαφρύ ρεύμα του Aasta Hansteen και σύγκριση με αυτά της προσομοίωσης της Statoil 122
Πίνακας 100 Σύγκριση προδιαγραφών σημείο δρόσου υδρογονανθράκων και σημείο δρόσου υδρατμών ελαφριού μίγματος Aasta Hansteen (SRK με όλες τις μεθόδους χαρακτηρισμού) .. 122
Πίνακας 101 Σύγκριση προδιαγραφών σημείο δρόσου υδρογονανθράκων και σημείο δρόσου υδρατμών ελαφριού μίγματος Aasta Hansteen (PR με όλες τις μεθόδους χαρακτηρισμού) 122
Πίνακας 102 Σύγκριση προδιαγραφών σημείο δρόσου υδρογονανθράκων και σημείο δρόσου υδρατμών ελαφριού μίγματος Aasta Hansteen (UMR_new με όλες τις μεθόδους χαρακτηρισμού) 123
Πίνακας 103 Σύγκριση μεθόδων χαρακτηρισμού και μοντέλων στο ρεύμα Export Gas του Aasta Hansteen 123
Πίνακας 104 Σύγκριση μεθόδων χαρακτηρισμού και μοντέλων στο συμπύκνωμα του Aasta Hansteen 124
Πίνακας 105 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων Aasta Hansteen για το ελαφρύ ρεύμα με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης 127
Πίνακας 106 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων Aasta Hansteen για το συμπύκνωμα με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης 129
Πίνακας 107 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων Aasta Hansteen για το ρεύματα εμπλουτισμού του ελαφριού ρεύματος με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης 130
Πίνακας 108 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων Aasta Hansteen για το ρεύματα εμπλουτισμού του συμπυκνώματος με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης..... 130

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1 Διάγραμμα Φάσεων Φυσικού Αερίου 12
Εικόνα 2 Διάγραμμα ροής επεξεργασίας Φυσικού Αερίου 15
Εικόνα 3 Διάγραμμα ροής μαζί με λειτουργικές συνθήκες της διεργασίας του Kristin (Πηγή δεδομένων Statoil) 25
Εικόνα 4 Διάγραμμα ροής μονάδας Kristin στο PRO/II (Πηγή Statoil) 27
Εικόνα 5 Ρεύμα τροφοδοσίας της μονάδας Kristin στην προσομοίωση του PRO/II 27
Εικόνα 6 Φύλλο αποτελεσμάτων του PRO/II 28
Εικόνα 7 Επεξεργασία μηχανολογικού εξοπλισμού στο PRO/II 29
Εικόνα 8 Μενού εισαγωγής ψευδοσυστατικών στο HYSYS 32
Εικόνα 9 Επιλογή καταστατικής εξίσωσης στο HYSYS 32
Εικόνα 10 Διάγραμμα ροής του Kristin στο Aspen HYSYS 34
Εικόνα 11 Δήλωση λίστας συστατικών στο HYSYS (και με τις 3 μεθόδους χαρακτηρισμού) 44
Εικόνα 12 Δήλωση συστατικών για την δημιουργία λίστας για τις προσομοιώσεις της μονάδας Kristin με το UMR_new 45
Εικόνα 13 Μενού επιλογής των συστατικών για την περίπτωση της εφαρμογής του Cape Open 45
Εικόνα 14 Μενού επιβεβαίωσης σωστής εισαγωγής των συστατικών στο HYSYS για κάθε μέθοδο χαρακτηρισμού 47
Εικόνα 15 Περιοχή Aasta Hansteen και γειτονικά κοιτάσματα 77
Εικόνα 16 Διάγραμμα Ροής της διεργασίας του Aasta Hansteen (λεπτομερής απεικόνιση στο Aspen HYSYS) 81
Εικόνα 17 Απλοποιημένη μορφή του διαγράμματος ροής του Aasta Hansteen (με σημειωμένες τις λειτουργικές συνθήκες) 82
Εικόνα 18 Δήλωση συστατικών στο Aspen HYSYS για την μονάδα Aasta Hansteen 85
Εικόνα 19 Μενού δήλωσης ιδιοτήτων συστατικών στο Aspen HYSYS 86
Εικόνα 20 Επιλογή μηδενικών συντελεστών αλληλεπίδρασης για την προσομοίωση με τα ψευδοσυστατικά στην μονάδα του Aasta Hansteen 86
Εικόνα 21 Απλοποιημένο διάγραμμα ροής του Aasta Hansteen 88
Εικόνα 22 Δήλωση συστατικών τριών μεθόδων χαρακτηρισμού για την μονάδα Aasta Hansteen και το UMR_new 98
Εικόνα 23 Μενού επιλογής πακέτων συστατικών για την μονάδα Aasta Hansteen με το UMR_new στο HYSYS 98
Εικόνα 24 Επιβεβαίωση επιτυχούς εισαγωγής λιστών συστατικών στο HYSYS για την μονάδα του Aasta Hansteen 100

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Διάγραμμα Φάσεων για το ελαφρύ ρεύμα της μονάδας Kristin (ψευδοσυστατικά) 40
Διάγραμμα 2 Μέση απόκλιση ρευμάτων προς εμπλουτισμό συμπυκνώματος ανά μοντέλο και χαρακτηρισμό..... 51
Διάγραμμα 3 Μέση απόκλιση ρευμάτων προς εμπλουτισμό ελαφριού ρεύματος (Export Gas) ανά μοντέλο και χαρακτηρισμό 51
Διάγραμμα 4 Διάγραμμα Φάσεων ελαφριού ρεύματος της μονάδας Kristin (με όλα τα μοντέλα και την τρίτη μέθοδο χαρακτηρισμού) και σύγκριση με αυτό της Statoil..... 67
Διάγραμμα 5 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (SRK για το ρεύμα υγραερίων του Kristin) 70
Διάγραμμα 6 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (PR για το ρεύμα υγραερίων του Kristin) 71
Διάγραμμα 7 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (SRK για το ελαφρύ ρεύμα του Kristin) 72
Διάγραμμα 8 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (PR για το ελαφρύ ρεύμα του Kristin) 73
Διάγραμμα 9 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (SRK για το συμπύκνωμα του Kristin)..... 74
Διάγραμμα 10 Ραβδοδιάγραμμα αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας με αλλαγή συντελεστών αλληλεπίδραση (PR για το συμπύκνωμα του Kristin) 74
Διάγραμμα 11 Μεταβολές στην πίεση ανάλογα την φάση παραγωγής στην μονάδα του Aasta Hansteen 79
Διάγραμμα 12 Σύγκριση διαγραμμάτων φάσεων για το ελαφρύ ρεύμα του Aasta Hansteen (ψευδοσυστατικά)..... 93
Διάγραμμα 13 Μέση απόκλιση μαζικής ροής ρευμάτων προς συμπύκνωμα του Aasta Hansteenνά μοντέλο και χαρακτηρισμό 104
Διάγραμμα 14 Μέση απόκλιση μαζικής ροής ρευμάτων προς ελαφρύ ρεύμα (Export Gas) ανά μοντέλο και χαρακτηρισμό 104
Διάγραμμα 15 Διάγραμμα Φάσεων ελαφριού ρεύματος της διεργασίας του Aasta Hansteen 121
Διάγραμμα 16 Σύγκριση αποκλίσεων με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης για το ελαφρύ ρεύμα του Aasta Hansteen (SRK και όλοι οι χαρακτηρισμοί)..... 125
Διάγραμμα 17 Σύγκριση αποκλίσεων με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης για το ελαφρύ ρεύμα του Aasta Hansteen (PR και όλοι οι χαρακτηρισμοί) 126
Διάγραμμα 18 Σύγκριση αποκλίσεων με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης για το συμπύκνωμα του Aasta Hansteen (SRK και όλοι οι χαρακτηρισμοί) 128
Διάγραμμα 19 Σύγκριση αποκλίσεων με και χωρίς συντελεστές αλληλεπίδρασης για το συμπύκνωμα του Aasta Hansteen (PR και όλοι οι χαρακτηρισμοί) 128

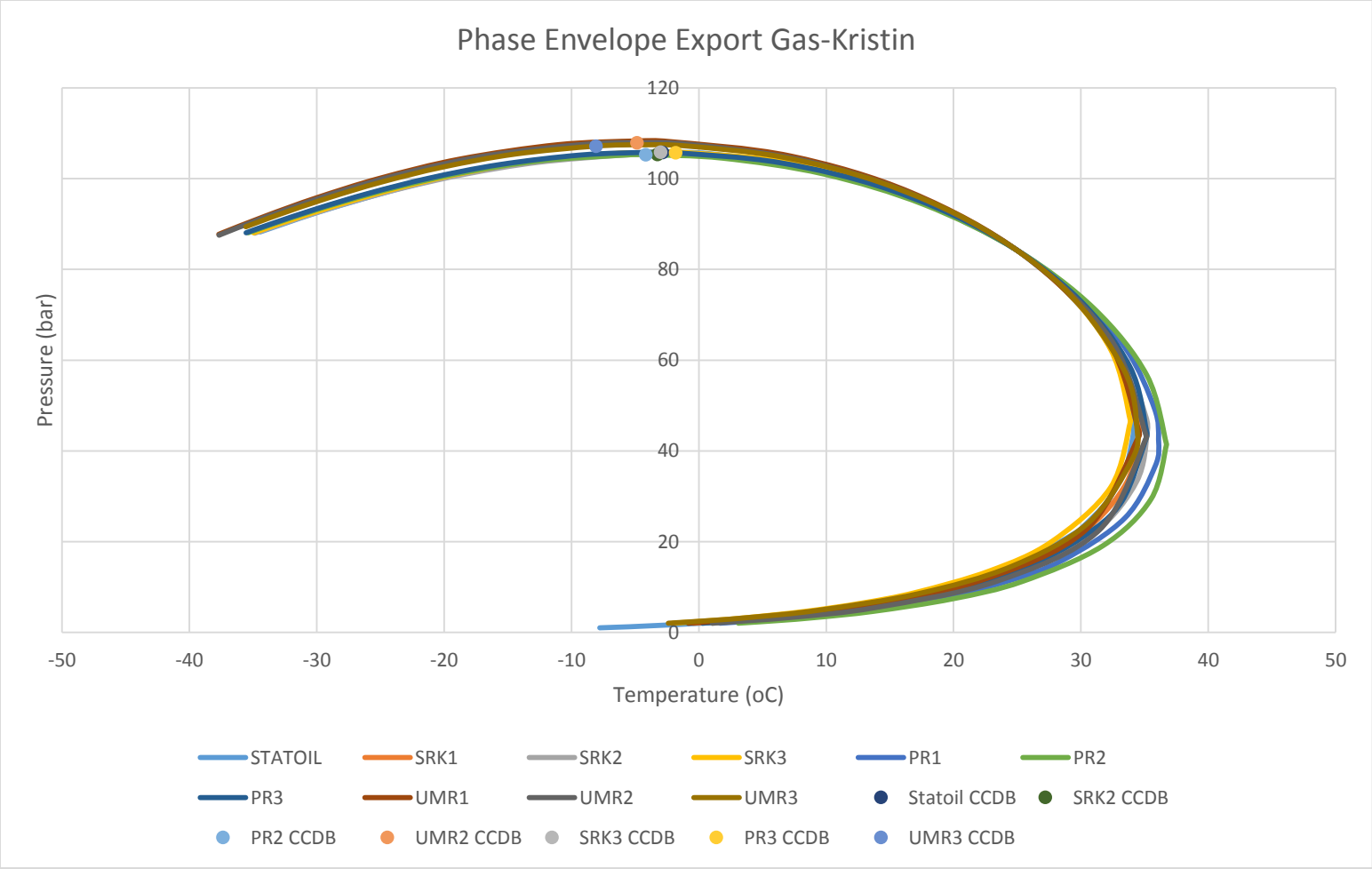
Παράρτημα A (Kristin)

FUEL GAS KIJ=0		Statoil	SRK1 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK2 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK3 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR1 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR2 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR3 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Total Molecular Weight		2.12E+01	2.12E+01	-5.91E-02	2.11E+01	3.99E-02	2.12E+01	-2.63E-01	2.12E+01	-3.69E-01	2.14E+01	-1.25E+00	2.14E+01	-1.27E+00
Total Molar Component Fractions														
H20		0.00E+00	0.00E+00		0.00E+00		0.00E+00		0.00E+00		0.00E+00		0.00E+00	
N2		3.48E-03	3.49E-03	-2.00E-01	3.49E-03	-1.71E-01	3.49E-03	-7.00E-02	3.48E-03	-4.15E-02	3.49E-03	-7.19E-02	3.48E-03	-2.78E-02
CO2		3.76E-02	3.76E-02	1.50E-01	3.76E-02	1.27E-01	3.75E-02	2.24E-01	3.75E-02	2.64E-01	3.75E-02	2.30E-01	3.75E-02	3.30E-01
C1		7.89E-01	7.89E-01	-5.42E-02	7.89E-01	-5.52E-02	7.89E-01	3.72E-02	7.88E-01	7.33E-02	7.88E-01	4.62E-02	7.88E-01	1.08E-01
C2		9.69E-02	9.67E-02	1.29E-01	9.68E-02	4.54E-02	9.68E-02	9.83E-02	9.68E-02	1.25E-01	9.67E-02	1.41E-01	9.66E-02	2.74E-01
C3		4.44E-02	4.44E-02	4.13E-02	4.45E-02	-6.36E-02	4.44E-02	1.32E-01	4.45E-02	-1.02E-01	4.44E-02	6.06E-02	4.43E-02	3.68E-01
IC4		7.60E-03	7.62E-03	-2.70E-01	7.64E-03	-5.07E-01	7.61E-03	-5.18E-02	7.64E-03	-4.39E-01	7.74E-03	-1.83E+00	7.61E-03	-9.67E-02
NC4		1.20E-02	1.19E-02	5.83E-01	1.20E-02	-1.04E-01	1.19E-02	6.28E-01	1.20E-02	-5.95E-01	1.21E-02	-1.17E+00	1.20E-02	-2.78E-01
IC5		2.84E-03	2.65E-03	6.85E+00	2.70E-03	5.03E+00	2.72E-03	4.16E+00	2.82E-03	7.47E-01	2.87E-03	-8.41E-01	2.89E-03	-1.51E+00
NC5		2.58E-03	2.43E-03	6.07E+00	2.48E-03	3.87E+00	2.51E-03	3.01E+00	2.54E-03	1.77E+00	2.59E-03	-3.07E-01	2.61E-03	-9.41E-01
GIC6		1.84E-03	1.68E-03	8.26E+00	1.75E-03	4.70E+00	2.50E-03	-3.64E+01	1.85E-03	-5.16E-01	1.91E-03	-3.82E+00	2.67E-03	-4.57E+01
GIC7		1.24E-03	1.44E-03	-1.59E+01	1.22E-03	1.88E+00	8.00E-04	3.56E+01	1.64E-03	-3.20E+01	1.40E-03	-1.30E+01	9.12E-04	2.66E+01
GIC8		5.44E-04	6.37E-04	-1.70E+01	4.85E-04	1.09E+01	3.08E-04	4.34E+01	7.70E-04	-4.15E+01	5.87E-04	-7.78E+00	3.74E-04	3.12E+01
GIC9		1.26E-04	1.47E-04	-1.71E+01	1.01E-04	1.96E+01	9.27E-04	-6.37E+02	1.89E-04	-5.06E+01	1.34E-04	-6.86E+00	1.07E-03	-7.49E+02
GIC10-C14		1.63E-05	2.25E-05	-3.82E+01	2.39E-05	-4.67E+01	2.23E-05	-3.73E+01	3.32E-05	-1.04E+02	3.51E-05	-1.15E+02	3.32E-05	-1.04E+02
GIC15-C24		6.48E-09	8.25E-09	-2.73E+01	8.78E-09	-3.55E+01	8.62E-09	-3.31E+01	1.93E-08	-1.98E+02	2.05E-08	-2.16E+02	2.09E-08	-2.22E+02
GIC25+		8.99E-17	4.44E-16	-3.94E+02	4.14E-16	-3.60E+02	4.54E-16	-4.05E+02	1.66E-15	-1.75E+03	1.43E-15	-1.49E+03	1.79E-15	-1.89E+03
H2S		0.00E+00	0.00E+00		0.00E+00		0.00E+00		0.00E+00		0.00E+00		0.00E+00	

Export Gas KIJ=0		Statoil	SRK1 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK2 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK3 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR1 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR2 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR3 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Total Molecular Weight		2.12E+01	2.12E+01	-5.91E-02	2.11E+01	3.99E-02	2.12E+01	-2.63E-01	2.12E+01	-3.69E-01	2.14E+01	-1.25E+00	2.14E+01	-1.27E+00
Total Molar Component Fractions														
H20		0.00E+00	0.0000		0.0000		0.0000		0		0		0	
N2		3.48E-03	0.0035	-0.2155	0.0035	-0.1786	0.0035	-0.0739	0.0035	-0.1513	0.0035	-0.0854	0.0035	-0.0357
CO2		3.76E-02	0.0376	0.1465	0.0376	0.1247	0.0375	0.2238	0.0375	0.2350	0.0375	0.2258	0.0375	0.3280
C1		7.89E-01	0.7896	-0.0643	0.7896	-0.0598	0.7888	0.0338	0.7887	0.0462	0.7888	0.0378	0.7883	0.1021
C2		9.69E-02	0.0967	0.1388	0.0968	0.0513	0.0968	0.0993	0.0967	0.1396	0.0967	0.1481	0.0966	0.2750
C3		4.44E-02	0.0444	0.0837	0.0444	-0.0405	0.0443	0.1425	0.0443	0.1839	0.0444	0.0914	0.0442	0.3804
IC4		7.60E-03	0.0076	-0.1902	0.0076	-0.4674	0.0076	-0.0332	0.0076	-0.2726	0.0077	-1.7712	0.0076	-0.0674
NC4		1.20E-02	0.0118	0.6951	0.0119	-0.0439	0.0118	0.6666	0.0120	-0.3924	0.0121	-1.0875	0.0120	-0.2262
IC5		2.84E-03	0.0026	7.0558	0.0027	5.1486	0.0027	4.2507	0.0028	0.9104	0.0028	-0.7281	0.0029	-1.4419
NC5		2.58E-03	0.0024	6.3106	0.0025	3.9982	0.0025	3.1145	0.0025	1.8823	0.0026	-0.1462	0.0026	-0.8207
GIC6		1.84E-03	0.0016	8.6757	0.0017	4.8990	0.0025	-36.8456	0.0018	-0.1341	0.0019	-3.5988	0.0026	-46.1654
GIC7		1.24E-03	0.0014	-15.8374	0.0012	2.0940	0.0008	36.4995	0.0016	-32.2823	0.0014	-12.8656	0.0009	27.5494
GIC8		5.44E-04	0.0006	-16.8081	0.0004	11.7066	0.0003	45.2368	0.0007	-41.6792	0.0005	-7.2139	0.0003	33.1283
GIC9		1.26E-04	0.0001	-16.5637	0.0001	21.5666	0.0009	-702.7055	0.0002	-51.3523	0.0001	-5.7156	0.0010	-827.6241
GIC10-C14		1.63E-05	0.0000	-40.8336	0.0000	-55.9860	0.0000	-42.7778	0.0000	-120.8104	0.0000	-142.1759	0.0000	-127.6700
GIC15-C24		6.48E-09	0.0000	-30.7070	0.0000	-54.7872	0.0000	-48.9207	0.0000	-370.6015	0.0000	-452.7738	0.0000	-484.8902
GIC25+		8.99E-17	0.0000	-771.8000	1.82E-21	-750.3542	0.0000	-847.9474	0.0000	-6712.1872	0.0000	-5614.1494	0.0000	-8347.9215
H2S		0.00E+00	0.0000		0		0		0		0		0.0000	

Condensate Kij=0		Statoil	SRK1 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK2 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK3 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR1 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR2 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR3 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Total Molecular Weight		140.5777	144.5520	-2.8272	143.5355	-2.1040	141.5508	-0.6923	145.1369	-3.2432	144.0178	-2.4471	142.1183274	-1.0959
Total Molar Component Fractions														
H20		0.00E+00	0.0521	2.6767	0.0523	2.4855	0.0522	2.5476	0.0520	3.0407	0.0520	2.8641	5.21E-02	2.6977
N2		3.48E-03	0.0000	-194.0376	0.0000	-182.9479	0.0000	-145.8088	0.0000	-190.4641	0.0000	-171.6006	5.16E-07	-145.4432
CO2		3.76E-02	0.0003	-35.3129	0.0003	-27.5553	0.0003	-33.0630	0.0003	-29.9963	0.0003	-24.4879	2.83E-04	-28.8527
C1		7.89E-01	0.0014	-52.5710	0.0014	-47.5491	0.0013	-36.1341	0.0014	-53.9418	0.0014	-49.4664	1.29E-03	-38.7194
C2		9.69E-02	0.0037	-15.4311	0.0036	-12.8953	0.0035	-11.0004	0.0037	-15.4480	0.0036	-13.3364	3.56E-03	-11.5069
C3		4.44E-02	0.0163	-2.5700	0.0159	0.0287	0.0165	-3.4275	0.0163	-2.0043	0.0159	0.4382	1.61E-02	-0.8266
IC4		7.60E-03	0.0139	-0.1488	0.0134	3.3915	0.0140	-1.0641	0.0137	1.0148	0.0134	3.4277	1.39E-02	-0.0492
NC4		1.20E-02	0.0381	-1.6464	0.0371	1.2499	0.0386	-2.8726	0.0373	0.6872	0.0363	3.1791	3.77E-02	-0.5148
IC5		2.84E-03	0.0284	-5.2572	0.0279	-3.4149	0.0281	-4.3452	0.0273	-1.3392	0.0268	0.5757	2.70E-02	-0.1346
NC5		2.58E-03	0.0327	-3.4092	0.0321	-1.5967	0.0324	-2.3493	0.0321	-1.5504	0.0317	-0.2917	3.18E-02	-0.6637
GIC6		1.84E-03	0.0631	-1.5983	0.0626	-0.8423	0.0572	7.9684	0.0624	-0.4403	0.0619	0.3122	5.62E-02	9.5164
GIC7		1.24E-03	0.1167	1.5322	0.1184	0.0727	0.1223	-3.2170	0.1161	2.0291	0.1179	0.5160	0.122505662	-3.4041
GIC8		5.44E-04	0.1359	0.7856	0.1371	-0.0848	0.1392	-1.6192	0.1360	0.6711	0.1373	-0.2774	0.139909902	-2.1622
GIC9		1.26E-04	0.0897	0.4715	0.0901	0.0035	0.0843	6.4714	0.0902	-0.1099	0.0906	-0.4829	8.39E-02	6.8855
GIC10-C14		1.63E-05	0.2138	0.2247	0.2139	0.1707	0.2151	-0.3911	0.2157	-0.6399	0.2155	-0.5493	0.216941437	-1.2404
GIC15-C24		6.48E-09	0.1511	0.1988	0.1511	0.1400	0.1520	-0.4182	0.1524	-0.6961	0.1523	-0.6103	0.153314152	-1.2969
GIC25+		8.99E-17	0.0428	0.1464	0.0428	0.0875	0.0431	-0.4710	0.0432	-0.7490	0.0432	-0.6632	4.34E-02	-1.3501
H2S		0.00E+00	0.0000	23.5105	0.0000	26.9458	0.0000	17.9958	0.0000	31.7693	0.0000	33.5842	7.14E-07	26.1521

Unit Operations	Heat Flow (MW)																		
	STATOIL	SRK1	Απόκλιση%	SRK2	Απόκλιση%	SRK3	Απόκλιση%	PR1	Απόκλιση%	PR2	Απόκλιση%	PR3	Απόκλιση%	UMR1	Απόκλιση%	UMR2	Απόκλιση%	UMR3	Απόκλιση%
E-100	44.254	44.435	-0.41	44.020	0.53	43.846	0.92	44.494	-0.54	44.038	0.49	43.77	1.10	45.604	-3.05	45.068	-1.84	44.90	-1.46
E-101	3.447	3.306	4.09	3.299	4.30	3.306	4.08	3.296	4.39	3.284	4.73	3.28	4.72	3.397	1.45	3.384	1.82	3.41	1.05
E-102	14.000	16.079	-14.85	15.908	-13.63	14.725	-5.18	15.800	-12.86	15.635	-11.68	14.45	-3.24	15.463	-10.45	15.411	-10.08	14.00	0.01
E-103	10.127	10.941	-8.04	11.484	-13.40	9.698	4.24	10.726	-5.91	11.306	-11.65	9.61	5.13	11.307	-11.66	11.941	-17.91	9.68	4.37
E-104	8.184	8.577	-4.80	8.988	-9.83	8.315	-1.60	8.771	-7.17	8.711	-6.44	8.13	0.72	8.855	-8.19	8.790	-7.40	7.88	3.74
E-105	6.756	6.971	-3.19	6.842	-1.27	7.238	-7.14	6.730	0.38	6.534	3.29	6.82	-0.98	6.805	-0.72	6.644	1.66	7.30	-8.08
E-106	9.240	11.007	-19.12	10.631	-15.06	10.155	-9.91	10.610	-14.83	10.248	-10.91	9.76	-5.62	10.033	-8.59	9.911	-7.26	9.05	2.09
E-107	31.530	30.747	2.48	30.775	2.39	30.836	2.20	29.802	5.48	29.813	5.45	29.85	5.33	29.388	6.79	29.394	6.77	29.47	6.53
E-108	3.026	3.022	0.12	3.020	0.21	3.028	-0.07	3.019	0.23	3.012	0.45	3.01	0.38	2.971	1.82	2.965	2.02	2.99	1.09
P-100	0.004	0.005	-14.93	0.005	-4.15	0.004	5.89	0.005	-20.09	0.005	-8.94	0.00	2.39	0.005	-13.98	0.004	-0.66	0.00	3.77
P-101	0.001	0.001	-14.90	0.001	-4.78	0.001	2.02	0.001	-11.56	0.001	-1.91	0.00	2.70	0.001	-14.04	0.001	-3.48	0.00	10.09
P-102	0.002	0.003	-9.97	0.003	-4.22	0.002	-1.05	0.003	-6.30	0.002	-0.37	0.00	3.41	0.002	-1.15	0.002	3.65	0.00	8.92
P-103	0.118	0.127	-7.00	0.129	-9.00	0.118	0.46	0.126	-6.47	0.128	-8.50	0.12	0.97	0.138	-16.67	0.141	-19.33	0.13	-7.97
P-104	1.827	1.958	-7.13	1.992	-9.02	1.825	0.10	1.948	-6.60	1.982	-8.50	1.82	0.65	2.156	-18.01	2.203	-20.59	2.00	-9.38
K-100	2.745	2.882	-5.01	2.832	-3.17	2.848	-3.75	2.801	-2.04	2.737	0.27	2.73	0.55	2.730	0.54	2.704	1.49	2.72	0.95
K-101	1.355	1.486	-9.63	1.459	-7.62	1.401	-3.36	1.435	-5.88	1.409	-3.94	1.35	0.46	1.343	0.92	1.348	0.56	1.24	8.86
K-102	3.042	3.843	-26.36	3.733	-22.72	3.517	-15.64	3.648	-19.95	3.553	-16.81	3.35	-9.98	3.143	-3.33	3.189	-4.86	2.83	6.90
K-103	25.860	25.054	3.11	25.080	3.02	25.083	3.00	23.739	8.20	23.753	8.15	23.74	8.19	23.594	8.76	23.601	8.74	23.58	8.83


Phase Envelope Export Gas-Kristin
Pressure (bar)
120
100
80
60
40
20
0
-50
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30
40
50
Temperature (oC)
STATOIL
SRK1
SRK2
SRK3
PR1
PR2
PR3
UMR1
UMR2
UMR3
Statoil CCDB
SRK2 CCDB
PR2 CCDB
UMR2 CCDB
SRK3 CCDB
PR3 CCDB
UMR3 CCDB

Παράρτημα B (Aasta Hansteen)

Condensate Kij=0	Statoil	SRK1 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK2 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK3 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR1 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR2 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR3 kij0	ΑΠΟΚΛΙ
Total Molecular Weight	142.18968	152.89258	-7.52720	145.64719	-2.43162	141.89704	0.20581	155.51030	-9.36820	147.77814	-3.93029	143.37215	-0.83162
Total Molar Component Fractions													
H2O	0.05528	0.06058	-9.58053	0.05750	-4.01406	0.05595	-1.21244	0.06034	-9.15507	0.05711	-3.30625	0.05548	-0.36873
Nitrogen	0.00000	0.00000	-66.19166	0.00000	-54.60555	0.00000	-50.31856	0.00000	-70.56551	0.00000	-58.37006	0.00000	-42.52118
CO2	0.00012	0.00012	0.22204	0.00012	0.50407	0.00012	-2.75093	0.00014	-12.54236	0.00014	-15.81815	0.00015	-25.36139
Methane	0.00201	0.00293	-45.41900	0.00287	-42.38479	0.00288	-42.98969	0.00320	-58.66259	0.00314	-55.86887	0.00301	-49.23504
Ethane	0.00338	0.00410	-21.35635	0.00417	-23.25550	0.00412	-21.74742	0.00435	-28.84123	0.00444	-31.30990	0.00424	-25.50673
Propane	0.00186	0.00216	-16.15634	0.00219	-18.05462	0.00219	-17.82656	0.00222	-19.47261	0.00226	-21.77659	0.00213	-14.92382
i-Butane	0.00907	0.01066	-17.53026	0.01071	-18.08687	0.01073	-18.34281	0.01094	-20.61158	0.01104	-21.77045	0.01104	-21.72557
n-Butane	0.00245	0.00276	-12.47904	0.00278	-13.36608	0.00279	-13.67853	0.00276	-12.53447	0.00280	-14.00354	0.00279	-13.62884
i-Pentane	0.01696	0.01903	-12.20245	0.01900	-12.06342	0.01884	-11.07204	0.01735	-2.34055	0.01766	-4.15655	0.01737	-2.40812
n-Pentane	0.00613	0.00673	-9.80172	0.00673	-9.84786	0.00667	-8.79623	0.00643	-4.98639	0.00655	-6.86307	0.00642	-4.82201
LUVAC6*/ 3-Mpentane	0.03943	0.03773	4.31954	0.03773	4.32753	0.03008	23.72844	0.03555	9.84849	0.03583	9.14432	0.02818	28.53533
Benzene	0.00019	0.00017	10.03688	0.00017	7.85131	0.00017	7.85220	0.00016	13.80464	0.00017	11.29931	0.00016	12.54870
Toluene	0.00146	0.00144	1.57141	0.00146	-0.24654	0.00143	1.79274	0.00138	5.68692	0.00140	3.73493	0.00136	6.59831
E-Benzene	0.00075	0.00075	0.16602	0.00076	-1.65000	0.00072	3.26450	0.00072	4.20635	0.00073	2.28790	0.00069	7.80168
LUVAC7*/n-Heptane	0.14683	0.12106	17.55246	0.12130	17.38660	0.12180	17.04448	0.11371	22.55591	0.11420	22.22357	0.11420	22.22580
LUVAC8*/11-Mcychexan	0.16968	0.13528	20.27465	0.13626	19.69700	0.19905	-17.30889	0.12751	24.85372	0.12860	24.20732	0.20031	-18.05204
LUVAC9*/o-Xylene	0.07381	0.06937	6.01171	0.07068	4.24375	0.07824	-5.99953	0.06966	5.62043	0.07096	3.86890	0.07942	-7.59843
LUVAC10-C11*/n-Decane	0.12371	0.13088	-5.80039	0.13155	-6.34370	0.11979	3.16191	0.12989	-4.99869	0.13041	-5.41571	0.11776	4.80959
LUVAC12*/n-C12	0.04835	0.05454	-12.79355	0.05474	-13.20269	0.04694	2.93168	0.05635	-16.53718	0.05652	-16.87955	0.04745	1.87086
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	0.05290	0.06008	-13.57647	0.05967	-12.79951	0.05212	1.47454	0.06275	-18.62845	0.06200	-17.20408	0.05330	-0.76102

LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	0.05329	0.06065	-13.79869	0.06056	-13.62563	0.05309	0.37568	0.06373	-19.58081	0.06347	-19.10235	0.05484	-2.90867
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	0.04629	0.05272	-13.91244	0.05270	-13.86699	0.04629	-0.00359	0.05556	-20.04438	0.05542	-19.73688	0.04805	-3.81651
LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	0.06056	0.06894	-13.83215	0.06896	-13.87604	0.06053	0.05260	0.07267	-19.99021	0.07260	-19.88218	0.06286	-3.80578
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	0.03206	0.03650	-13.85313	0.03652	-13.90558	0.03205	0.03681	0.03849	-20.03728	0.03846	-19.94796	0.03329	-3.83579
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	0.03206	0.03650	-13.85538	0.03652	-13.90957	0.03205	0.03542	0.03849	-20.04505	0.03846	-19.96245	0.03329	-3.84189
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	0.02137	0.02434	-13.85542	0.02435	-13.90970	0.02137	0.03539	0.02566	-20.04509	0.02564	-19.96287	0.02220	-3.84196

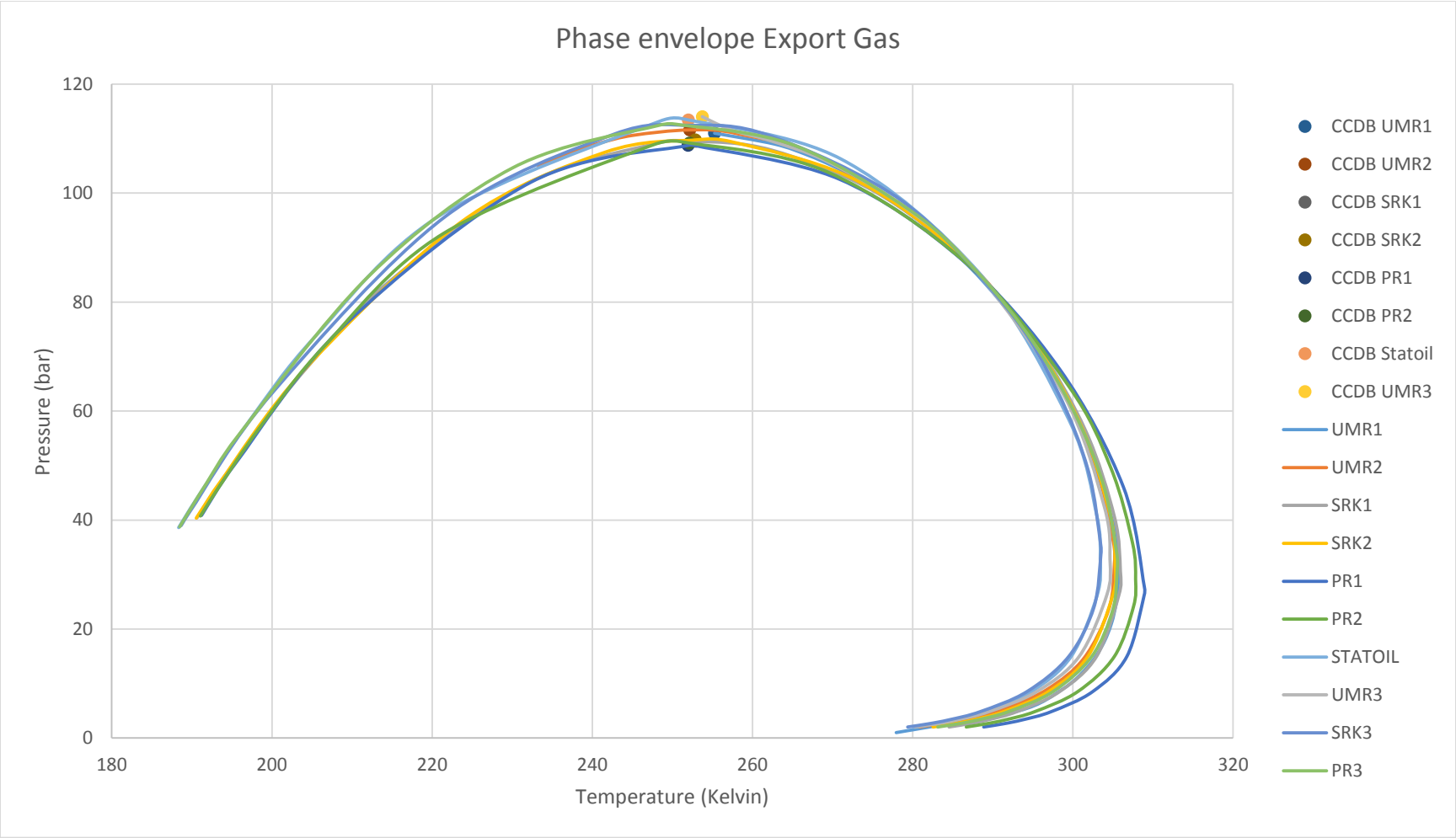
Export Gas Kij=0	Statoil	SRK1 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK2 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	SRK3 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR1 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR2 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	PR3 kij0	ΑΠΟΚΛΙΣΗ		
Total Molecular Weight	17.0539	17.0536	0.0019	17.0878	-0.1983	17.0870	-0.1941	17.0543	-0.0021	17.0988	-0.2632	17.0981	-0.2592	17.0641	-0.0595
Total Molar Component Fractions															
H2O	3.24077E-05	3.24E-05	0.003831631	3.24E-05	-0.0119	3.24E-05	-0.0141	**3.24E-05**	0.0092	3.26E-05	-0.7454	3.26E-05	-0.7460	3.26E-05	-0.7340
Nitrogen	0.0098	9.78E-03	0.000418324	0.0098	0.0342	0.0098	0.0334	0.0098	0.0001	0.0098	0.0459	0.00977	0.0451	0.0098	0.0106
CO2	0.0050	4.96E-03	-0.008448053	0.0050	0.0243	0.0050	0.0234	0.0050	-0.0089	0.0050	0.0365	0.00496	0.0360	0.0050	0.0030
Methane	0.9497	0.949695058	-0.0007606	0.9494	0.0331	0.9494	0.0323	0.9497	-0.0009	0.9493	0.0449	0.94927	0.0441	0.9496	0.0096
Ethane	0.0286	2.86E-02	0.000916213	0.0286	0.0322	0.0286	0.0319	0.0286	0.0031	0.0286	0.0442	0.02860	0.0441	0.0286	0.0133
Propane	0.0015	1.53E-03	0.059315022	0.0015	0.0601	0.0015	0.0678	0.0015	0.0835	0.0015	0.0639	0.00153	0.0695	0.0015	0.0692
i-Butane	0.0022	2.16E-03	0.111659329	0.0022	0.0760	0.0022	0.0921	0.0022	0.2330	0.0022	0.0576	0.00216	0.0681	0.0022	0.2292

n-Butane	0.0004	3.54E-04	0.154661919	0.0004	0.0101	0.0004	0.0404	0.0004	0.2834	0.0004	-0.0728	0.00035	-0.0501	0.0004	0.2122
i-Pentane	0.0009	9.03E-04	0.260553978	0.0009	-0.0453	0.0009	-0.0236	0.0009	0.6122	0.0009	-0.6540	0.00091	-0.6455	0.0009	-0.0332
n-Pentane	0.0003	2.53E-04	0.296829127	0.0003	-0.1995	0.0003	-0.1655	0.0003	0.6369	0.0003	-0.7130	0.00026	-0.6820	0.0003	0.1250
LUVAC6*/ 3-Mpentane	0.0006	6.10E-04	0.241278816	0.0006	-2.7830	0.0006	-2.7490	0.0006	-4.1894	0.0006	-4.3359	0.00064	-4.2681	0.0006	-5.5203
Benzene	0.0000	1.69E-06	-0.367502585	0.0000	-6.3435	0.0000	-5.7143	0.0000	-2.2560	0.0000	-8.5153	0.00000	-7.9061	0.0000	-4.7004
Toluene	0.0000	5.17E-06	3.256368398	0.0000	-9.9212	0.0000	-8.6839	0.0000	-0.8683	0.0000	-15.9430	0.00001	-14.6675	0.0000	-7.2265
E-Benzene	0.0000	1.21E-06	-0.065630195	0.0000	-20.4161	0.0000	-17.6819	0.0000	-4.6618	0.0000	-34.0957	0.00000	-31.2251	0.0000	-18.4811
LUVAC7*/n-Heptane	0.0006	6.13E-04	-0.096935727	0.0007	-18.2392	0.0007	-18.1222	0.0007	-11.1094	0.0008	-23.5325	0.00076	-23.3325	0.0007	-16.5555
LUVAC8*/11-Mcychexan	0.0004	3.68E-04	-0.181248264	0.0005	-38.1030	0.0005	-37.4506	0.0003	24.5871	0.0005	-47.7135	0.00054	-46.9652	0.0003	17.7942
LUVAC9*/o-Xylene	7.4026E-05	7.40E-05	-0.02482	0.0001	-47.5227	0.0001	-43.2339	0.0001	18.4024	0.0001	-58.5246	0.00011	-54.2799	0.0001	11.5549
LUVAC10-C11*/n-Decane	4.37911E-05	4.38E-05	-0.064270891	6.75E-05	-54.0358	6.59E-05	-50.5638	5.38E-05	-22.8247	8.64E-05	-97.3970	8.50E-05	-94.1606	7.18E-05	-63.8774
LUVAC12*/n-C12	4.40767E-06	4.39E-06	0.337975781	5.53E-06	-25.5556	5.11E-06	-15.8995	8.16E-06	-85.2100	8.24E-06	-86.9282	7.76E-06	-76.0783	1.18E-05	-167.6437
LUVAC13*/n-C13\n-Hexyl-BZ	1.58293E-06	1.58E-06	0.407780668	1.84E-06	-16.0262	2.92E-06	-84.5868	3.60E-06	-127.2555	3.23E-06	-103.9256	4.89E-06	-209.1809	5.91E-06	-273.1027
LuvaC14*/n-C14\n-Heptyl-BZ	4.29132E-07	4.27E-07	0.55105467	4.29E-07	0.0473	7.28E-07	-69.6120	8.60E-07	-100.3116	9.34E-07	-117.6698	1.43E-06	-233.1657	1.71E-06	-297.7395
LuvaC15*/n-C16\n-Octyl-BZ	8.48324E-08	8.43E-08	0.638995174	3.46E-08	59.1754	1.49E-07	-75.2344	4.87E-08	42.6363	1.00E-07	-18.0433	3.45E-07	-306.9032	1.32E-07	-55.7967

LuvaC16-C17*/n-C17\n-C16	1.12794E-08	1.12E-08	0.919397236	1.94E-08	-72.1410	3.49E-08	-209.8390	1.38E-08	-22.4440	6.25E-08	-454.0715	9.92E-08	-779.5195	4.41E-08	-290.7518
LuvaC18-C19*/Phenanthrene\n-C18	2.98737E-10	2.95E-10	1.404987592	1.76E-09	-488.6999	3.21E-09	-972.9693	1.21E-09	-304.5464	5.82E-09	-1848.5357	1.12E-08	########	5.32E-09	##########
LuvaC20-C23*/n-C24\n-C20	1.49076E-12	1.46E-12	2.24117042	2.92E-13	80.4457	7.14E-11	-4689.8263	1.74E-12	-16.6071	1.44E-12	3.0978	2.83E-10	########	3.65E-11	##########
LuvaC24-C49*/n-C36\n-C28	6.10065E-20	5.40E-20	11.53548318	2.70E-20	55.7032	5.57E-16	-912808.0495	5.28E-19	-765.6963	1.19E-19	-95.6662	2.92E-15	########	1.46E-15	##########

Unit Operations	Heat Flow (MW) Aasta Hansteen																		
	STATOIL	SRK1	Απόκλιση%	SRK2	Απόκλιση%	SRK3	Απόκλιση%	PR1	Απόκλιση%	PR2	Απόκλιση%	PR3	Απόκλιση%	UMR1	Απόκλιση%	UMR2	Απόκλιση%	UMR3	Απόκλιση%
E-109	10.148	10.189	-0.40	10.169	-0.21	10.122	0.26	9.622	5.19	9.60	5.36	9.59	5.48	9.483	6.55	9.435	7.03	9.41	7.29
20HA001	0.930	0.805	13.50	0.762	18.13	0.855	8.12	0.751	19.23	0.71	23.74	0.79	15.06	0.808	13.09	0.737	20.73	0.79	15.19
E-105	0.658	0.597	9.22	0.558	15.15	0.597	9.26	0.551	16.26	0.51	22.08	0.57	12.90	0.594	9.67	0.534	18.89	0.57	13.03
E-106	0.073	0.056	23.12	0.054	25.55	0.057	21.04	0.045	38.09	0.04	39.86	0.05	35.36	0.055	23.81	0.052	28.11	0.05	28.82
E-107	0.025	0.007	73.69	0.007	73.53	0.009	64.68	0.006	75.74	0.01	75.41	0.01	73.00	0.007	72.10	0.007	72.73	0.01	70.34
E-108	0.118	0.071	39.98	0.070	40.69	0.097	17.80	0.064	45.36	0.06	45.52	0.07	38.61	0.070	40.90	0.068	42.57	0.07	36.45
E-100	0.999	0.985	1.38	0.980	1.86	1.079	-8.01	0.116	88.42	0.11	88.73	0.19	80.49	1.238	-23.94	1.205	-20.65	1.28	-28.06
E-101	1.817	1.820	-0.15	1.820	-0.13	1.815	0.14	1.820	-0.13	1.82	-0.12	1.81	0.18	1.820	-0.16	1.821	-0.17	1.82	0.13
E-102	6.747	6.919	-2.55	6.920	-2.57	6.912	-2.45	6.884	-2.03	6.88	-2.05	6.88	-1.94	6.883	-2.02	6.890	-2.13	6.87	-1.78
E-103	30.390	32.562	-7.15	32.563	-7.15	32.607	-7.30	31.683	-4.25	31.68	-4.26	31.73	-4.41	31.574	-3.89	31.574	-3.90	31.63	-4.08
P-100	0.003	0.002	32.62	0.002	34.78	0.002	27.27	0.002	35.44	0.00	37.53	0.00	30.38	0.002	25.46	0.002	30.82	0.00	23.32
P-103	4.58E-05	3.63E-05	20.71	3.51E-05	23.33	3.13E-05	31.77	2.80E-05	38.88	2.71E-05	40.76	2.58E-05	43.74	3.67E-05	19.87	3.49E-05	23.86	2.81E-05	38.75

23KA001	0.005	0.006	-38.07	0.007	-38.86	0.009	-91.61	0.006	-27.89	0.01	-29.64	0.01	-47.46	0.007	-44.78	0.007	-42.00	0.01	-59.33
23KA002	0.100	0.073	27.25	0.072	27.87	0.102	-1.76	0.067	32.85	0.07	32.78	0.08	24.45	0.072	28.08	0.070	29.81	0.08	22.40
23KA003	0.098	0.168	-71.12	0.166	-69.82	0.236	-141.52	0.155	-58.20	0.16	-58.58	0.17	-78.15	0.165	-68.06	0.161	-64.31	0.18	-81.69
27KA001	36.598	38.949	-6.42	38.950	-6.43	38.959	-6.45	37.135	-1.47	37.14	-1.47	37.16	-1.54	37.117	-1.42	37.117	-1.42	37.15	-1.50


Phase envelope Export Gas
Pressure (bar)
Temperature (Kelvin)
120
100
80
60
40
20
0
180
200
220
240
260
280
300
320
CCDB UMR1
CCDB UMR2
CCDB SRK1
CCDB SRK2
CCDB PR1
CCDB PR2
CCDB Statoil
CCDB UMR3
UMR1
UMR2
SRK1
SRK2
PR1
PR2
STATOIL
UMR3
SRK3
PR3

Παράρτημα Γ (Παράμετροι UMR_new)

CO2	N2	CH4	C2H6	CH3	CH2	CH	C	ACH	AC	ACCH3	ACCH2	ACCH	cCH2	cCH	cC	H2O	H2S	:R
1.296	0.934	1.129	1.8022	0.9011	0.6744	0.4469	0.2195	0.5313	0.3652	1.2663	1.0396	0.8121	0.6744	0.4469	0.2195	0.92	1.1665	
CO2	N2	CH4	C2H6	CH3	CH2	CH	C	ACH	AC	ACCH3	ACCH2	ACCH	cCH2	cCH	cC	H2O	H2S	:Q
1.261	0.985	1.124	1.696	0.848	0.54	0.228	0	0.4	0.12	0.968	0.66	0.348	0.54	0.228	0	1.4	1.163	
CO2	N2	CH4	C2H6	CH3	CH2	CH	C	ACH	AC	ACCH3	ACCH2	ACCH	cCH2	cCH	cC	H2O	H2S	:AA(I,J)
0	382.68	301.981	90.86	70.056	70.056	70.056	70.056	11.833	11.833	-114.648	-114.648	-114.648	39.01	39.01	39.01	797.17	57.591	CO2
-137.9	0	-119.608	-154.523	112.517	112.517	112.517	112.517	143.869	143.869	220.335	220.335	220.335	117.222	117.222	117.222	3000	195.341	N2
-83.725	194.037	0	96.487	328.796	328.796	328.796	328.796	186.086	186.086	142.105	142.105	142.105	155.721	155.721	155.721	770.282	34.752	CH4
117.63	303.921	-71.146	0	154.49	154.49	154.49	154.49	103.72	103.72	-43.129	-43.129	-43.129	107.269	107.269	107.269	1378.84	154.852	C2H6
84.678	-4.257	-214.414	-140.185	0	0	0	0	64.45	64.45	-93.37	-93.37	-93.37	0	0	0	1300	14.162	CH3
84.678	-4.257	-214.414	-140.185	0	0	0	0	64.45	64.45	-93.37	-93.37	-93.37	0	0	0	1300	14.162	CH2
84.678	-4.257	-214.414	-140.185	0	0	0	0	64.45	64.45	-93.37	-93.37	-93.37	0	0	0	1300	14.162	CH
84.678	-4.257	-214.414	-140.185	0	0	0	0	64.45	64.45	-93.37	-93.37	-93.37	0	0	0	1300	14.162	C
99.436	145.179	-101.91	-56.206	-6.73	-6.73	-6.73	-6.73	0	0	-155.4	-155.4	-155.4	-6.73	-6.73	-6.73	859.4	15.491	ACH
99.436	145.179	-101.91	-56.206	-6.73	-6.73	-6.73	-6.73	0	0	-155.4	-155.4	-155.4	-6.73	-6.73	-6.73	859.4	15.491	AC
445.081	220.656	-106.628	69.484	252.5	252.5	252.5	252.5	366.6	366.6	0	0	0	252.5	252.5	252.5	5695	140.283	ACCH3
445.081	220.656	-106.628	69.484	252.5	252.5	252.5	252.5	366.6	366.6	0	0	0	252.5	252.5	252.5	5695	140.283	ACCH2
445.081	220.656	-106.628	69.484	252.5	252.5	252.5	252.5	366.6	366.6	0	0	0	252.5	252.5	252.5	5695	140.283	ACCH
141.64	-13.689	-119.879	-95.386	0	0	0	0	64.45	64.45	-93.37	-93.37	-93.37	0	0	0	1300	97.814	cCH2
141.64	-13.689	-119.879	-95.386	0	0	0	0	64.45	64.45	-93.37	-93.37	-93.37	0	0	0	1300	97.814	cCH
141.64	-13.689	-119.879	-95.386	0	0	0	0	64.45	64.45	-93.37	-93.37	-93.37	0	0	0	1300	97.814	cC
238.5	807.569	661.765	550.68	520	520	520	520	250	250	203.7	203.7	203.7	520	520	520	0	548.77	H2O
230.854	400.469	309.707	157.611	296.594	296.594	296.594	296.594	18.489	18.489	110.359	110.359	110.359	146.786	146.786	146.786	223.508	0	H2S

CO2	N2	CH4	C2H6	CH3	CH2	CH	C	ACH	AC	ACCH3	ACCH2	ACCH	cCH2	cCH	cC	H2O	H2S	:BB(I,J)
0	1.5736	1.69508	-0.4893	-0.72765	-0.72765	-0.72765	-0.72765	-2.05679	-2.05679	-3.6506	-3.6506	-3.6506	0.1982	0.1982	0.1982	-4.6677	-1.2299	CO2
-1.6936	0	-0.7538	-0.90206	-1.49027	-1.49027	-1.49027	-1.49027	-0.46995	-0.46995	-1.2827	-1.2827	-1.2827	-1.28611	-1.28611	-1.28611	0	-1.48976	N2
-2.25699	0.83182	0	0.50731	1.80306	1.80306	1.80306	1.80306	-0.59327	-0.59327	-0.37713	-0.37713	-0.37713	-0.46662	-0.46662	-0.46662	-5.59164	-0.28315	CH4
-0.3263	0.94671	-0.40115	0	-0.28153	-0.28153	-0.28153	-0.28153	-1.09586	-1.09586	-0.11056	-0.11056	-0.11056	0.0615	0.0615	0.0615	-9.2622	-0.38689	C2H6
-0.69893	0.62645	-1.22023	-0.18584	0	0	0	0	0.3745	0.3745	-1.103	-1.103	-1.103	0	0	0	0	-2.37449	CH3
-0.69893	0.62645	-1.22023	-0.18584	0	0	0	0	0.3745	0.3745	-1.103	-1.103	-1.103	0	0	0	0	-2.37449	CH2
-0.69893	0.62645	-1.22023	-0.18584	0	0	0	0	0.3745	0.3745	-1.103	-1.103	-1.103	0	0	0	0	-2.37449	CH
-0.69893	0.62645	-1.22023	-0.18584	0	0	0	0	0.3745	0.3745	-1.103	-1.103	-1.103	0	0	0	0	-2.37449	C
1.38681	-0.44902	-0.20892	0.29066	-0.5662	-0.5662	-0.5662	-0.5662	0	0	-1.489	-1.489	-1.489	-0.5662	-0.5662	-0.5662	0	-1.28087	ACH
1.38681	-0.44902	-0.20892	0.29066	-0.5662	-0.5662	-0.5662	-0.5662	0	0	-1.489	-1.489	-1.489	-0.5662	-0.5662	-0.5662	0	-1.28087	AC
8.18684	0.54027	0.93402	1.24646	2.65	2.65	2.65	2.65	13.22	13.22	0	0	0	2.65	2.65	2.65	0	-0.04292	ACCH3
8.18684	0.54027	0.93402	1.24646	2.65	2.65	2.65	2.65	13.22	13.22	0	0	0	2.65	2.65	2.65	0	-0.04292	ACCH2
8.18684	0.54027	0.93402	1.24646	2.65	2.65	2.65	2.65	13.22	13.22	0	0	0	2.65	2.65	2.65	0	-0.04292	ACCH
-1.3184	1.34083	0.0722	-0.35122	0	0	0	0	0.3745	0.3745	-1.103	-1.103	-1.103	0	0	0	0	-1.14895	cCH2
-1.3184	1.34083	0.0722	-0.35122	0	0	0	0	0.3745	0.3745	-1.103	-1.103	-1.103	0	0	0	0	-1.14895	cCH
-1.3184	1.34083	0.0722	-0.35122	0	0	0	0	0.3745	0.3745	-1.103	-1.103	-1.103	0	0	0	0	-1.14895	cC
2.5858	6.01914	5.86304	2.8832	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00089	H2O
1.54664	-0.66369	-0.01754	0.15687	1.62337	1.62337	1.62337	1.62337	-0.3455	-0.3455	0.32444	0.32444	0.32444	-0.92172	-0.92172	-0.92172	2.11683	0	H2S
CO2	N2	CH4	C2H6	CH3	CH2	CH	C	ACH	AC	ACCH3	ACCH2	ACCH	cCH2	cCH	cC	H2O	H2S	:CC(I,J)
0	0	0	0	0.002452	0.002452	0.002452	0.002452	-0.00181	-0.00181	0.018463	0.018463	0.018463	-0.01413	-0.01413	-0.01413	0.004053	0	CO2
0	0	0	0	0.000607	0.000607	0.000607	0.000607	0.000113	0.000113	-0.00252	-0.00252	-0.00252	-0.00216	-0.00216	-0.00216	0	0	N2
0	0	0	0	-0.01116	-0.01116	-0.01116	-0.01116	0.003441	0.003441	0.010348	0.010348	0.010348	0.007538	0.007538	0.007538	0.008488	0	CH4

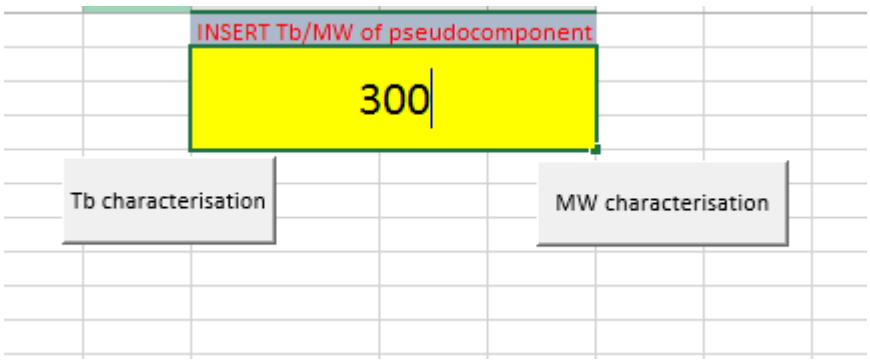
0	0	0	0	0.011039	0.011039	0.011039	0.011039	0.007017	0.007017	-0.00515	-0.00515	-0.00515	0.009934	0.009934	0.009934	0.012074	0	C2H6
0.002966	0.002043	0.004627	-0.00539	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00017	CH3
0.002966	0.002043	0.004627	-0.00539	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00017	CH2
0.002966	0.002043	0.004627	-0.00539	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00017	CH
0.002966	0.002043	0.004627	-0.00539	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00017	C
0.007309	-0.00077	0.000485	-0.00303	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00478	ACH
0.007309	-0.00077	0.000485	-0.00303	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00478	AC
0.304722	0.004442	-0.0074	-0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00061	ACCH3
0.304722	0.004442	-0.0074	-0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00061	ACCH2
0.304722	0.004442	-0.0074	-0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00061	ACCH
0.020399	0.000741	-0.00494	-0.00512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00362	cCH2
0.020399	0.000741	-0.00494	-0.00512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00362	cCH
0.020399	0.000741	-0.00494	-0.00512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00362	cC
0.001055	-0.01988	-0.00888	0.001402	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00766	H2O
0	0	0	0	-0.00285	-0.00285	-0.00285	-0.00285	0.008502	0.008502	-0.01006	-0.01006	-0.01006	0.003043	0.003043	0.003043	-0.01048	0	H2S

Παράρτημα Δ (Πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για τον χαρακτηρισμό βαριού κλάσματος)

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε σε Visual Basic στο Excel για την εύρεση συστατικών από την βάση δεδομένων χρησιμοποιώντας ως input τα κανονικά σημεία βρασμού και το μοριακό βάρος.

Ο χρήστης εισάγει Tb ή MW και στο φύλλο των αποτελεσμάτων εκτυπώνονται τα 8 επικρατέστερα καθώς και η διαφορά των σημείων βρασμού/μοριακού βάρους αυτών από την τιμή που εισήγαγε ο χρήστης.

Στην συνέχεια θα περιγραφεί η λειτουργία του προγράμματος. Ο χρήστης δίνει στην πιο κάτω υποδοχή την τιμή Tb/MW:



Στην συνέχεια ανάλογα με ποια μέθοδο αναζητά επιλέγει :Tb ή MW characterization.

Τα αποτελέσματα εκτυπώνονται στην ακόλουθη φόρμα:

No.	Component Name	Absolute Difference
1	iC5	0.99
2	nC5	9.22
3	22DMC3 (NEOPENT/	17.35
4	cyC5	22.4
5	22DMC4	22.88
6	nC4	27.35
7	23DMC4	31.13
8	2MC5	33.41

Παρουσιάζονται τα 8 επικρατέστερα μαζί με την απόλυτη διαφορά.

Στις επόμενες σελίδες παρατίθεται ο κώδικας του προγράμματος:

```
Sub Tb_characterisation()

Dim myarray1(200, 45)
```

```
Dim k, error As Double
k = Sheets("Insert").Cells(2, 8).Value
For j = 1 To 40
For i = 2 To 143
myarray1(i, j) = Sheets("Database").Cells(i, j)
Next i
Next j
j = 7
For i = 2 To 143
error = Abs(myarray1(i, j) - k)
myarray1(i, 41) = error
Next i
For i = 2 To 143
Sheets("Database").Cells(i, 41) = myarray1(i, 41)
Next i
    ActiveWorkbook.Worksheets("Database").Sort.SortFields.Clear
   ActiveWorkbook.Worksheets("Database").Sort.SortFields.Add Key:=Range("AO2"), _
      SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
   With ActiveWorkbook.Worksheets("Database").Sort
      .SetRange Range("A2:AO143")
      .Header = xlNo
      .MatchCase = False
      .Orientation = xlTopToBottom
      .SortMethod = xlPinYin
      .Apply
   End With

For m = 2 To 9
Sheets("Results").Cells(m, 8) = m - 1
```

```
Sheets("Results").Cells(m, 9) = Sheets("Database").Cells(m, 1)
Sheets("Results").Cells(m, 10) = Sheets("Database").Cells(m, 41)
Next m
For j = 1 To 40
For i = 2 To 143
myarray1(i, j) = Sheets("Database").Cells(i, j)
Next i
Next j
Worksheets("Database").Range("AO1:AO143").ClearContents
   Sheets("Results").Select

End Sub
Sub MW_characterisation()
Dim myarray1(200, 45)
Dim k, error As Double
k = Sheets("Insert").Cells(2, 8).Value
For j = 1 To 40
For i = 2 To 143
myarray1(i, j) = Sheets("Database").Cells(i, j)
Next i
Next j
j = 6
For i = 2 To 143
error = Abs(myarray1(i, j) - k)
myarray1(i, 41) = error
Next i
For i = 2 To 143
Sheets("Database").Cells(i, 41) = myarray1(i, 41)
Next i
```

```
 ActiveWorkbook.Worksheets("Database").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Database").Sort.SortFields.Add Key:=Range("AO2"), _
   SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Database").Sort
   .SetRange Range("A2:AO143")
   .Header = xlNo
   .MatchCase = False
   .Orientation = xlTopToBottom
   .SortMethod = xlPinYin
   .Apply
End With

For m = 2 To 9
Sheets("Results").Cells(m, 8) = m - 1
Sheets("Results").Cells(m, 9) = Sheets("Database").Cells(m, 1)
Sheets("Results").Cells(m, 10) = Sheets("Database").Cells(m, 41)
Next m
For j = 1 To 40
For i = 2 To 143
myarray1(i, j) = Sheets("Database").Cells(i, j)
Next i
Next j
Worksheets("Database").Range("AO1:AO143").ClearContents
Sheets("Results").Select

End Sub
```